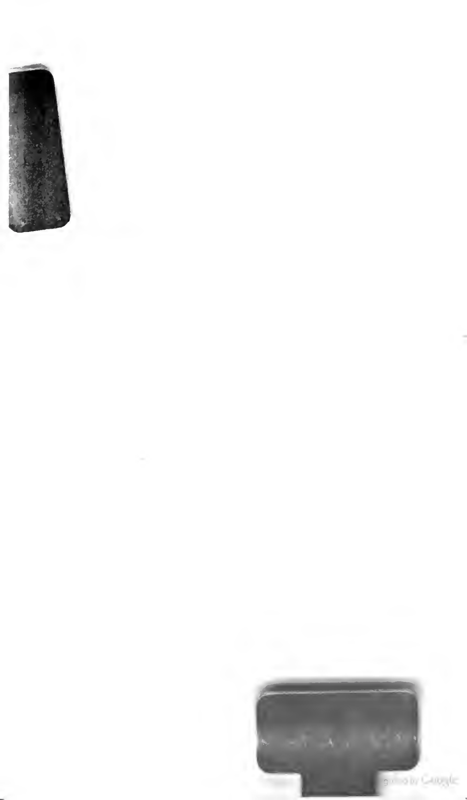


Conspectus

der bis jetzt erschienenen 250 Bände

des

Neuen Schauplatzes

der

Künste und Handwerke.

Mit Berücksichtigung der neuesten Erfindungen, herausgegeben von einer Gesellschaft von Künstlern, Technologen und Professionisten. Mit vielen Abbildungen und mit zum Theil bedeutend ermäßigten Preisen. 1817—61.

		Rthl.	Sgr.
1r Bd.	Eupel, der vollkommene Conditor	1	—
2r „	Thon, Kunst, Bücher zu binden	1	7½
3r „	Barfuß, Optik, Katoptrik und Dioptrik	3	—
4r „	Kunst des Seifensiedens und Lichtziehens	1	7½
5r „	Stöckel, Tischlerkunst	1	15
6r „	Vitalis, Lehrbuch der gesammten Färberei	3	—
7r „	Schmidt, Leimsiederei	—	20
8r „	Schulze, Gold- und Silberarbeiter	—	15
9r „	Schmidt, englische Pendeluhren	—	25
10r „	Schmidt, Tapetenfabrication	—	22½
11r „	Der Schuh- und Stiefelmacher	—	22½
12r „	Thon, Fleischerhandwerk	1	—
13r „	Huth, Handbuch der Kochkunst	—	25
14r „	Thon, vollst. Anleitung zur Lackirkunst	2	—
15r „	Thon, Drehkunst in ihrem ganzen Umfange	1	15
16r „	Der vollkommene Parfumeur	—	22½
17r „	Perrattet, Indig-Fabrication	—	7½
18r „	Hüttmann, Cementir-, Tüncher- u. Stuccaturarbeit	2	—
19r „	Wölfer, Anweisung zum Treppenbau	—	5
20r „	Schmidt, Chocoladefabricant	—	5
21r „	Armellino, die Kunst des Clavierstimmens	—	12½
22r u. 23r Bd.	Matthaey, Handbuch für Maurer. 2 Bde.	1	15
24r Bd.	Schedel, Destillirkunst	1	—
25r „	Thon, Fabricant bunter Papiere	1	7½
26r „	Matthaey, Stein- oder Dammsetzer	1	10
27r „	Schulze, Bau der Reitsattel	—	7½
28r „	Hertel, Lehre vom Kalk und Gyps	1	15
29r „	Hagdorn, Anstreicher, Zimmermaler und Tüncher	1	—
30r „	Auch, Handbuch für Handschuhmacher	1	10
31r „	Reinnel, englisches Receptbuch für Maurer ꝛc.	—	20
32r „	Bemmenberger, vollkommener Juwelier	—	22½
33r „	Fontenelle, Essig- und Senfbereitung	—	25
34r „	Schaller, wohlunterrichteter Ziegler	1	7½
35r „	Brewster, Stereoskop	1	—
36r „	Fontenelle, Oelbereitung	1	7½
37r „	Wettengel, Anleitung zum Geigenbau	—	20
38r „	Pilzecker, Hutmacherkunst	—	22½
39r „	Bergmann, Stärke- ꝛc. Puder-Fabrication	1	—
40r „	Peclet, Gebäude- Zimmer-, u. Straßen-Erleuchtung.	1	15
41r „	Leischner, vollkommene Linirkunst	—	22½
42r „	Handbuch der Frisirkunst	—	6
43r „	Weishaupt, das Ganze des Steindrucks	1	10
44r „	Baumann, Seidenbau	1	—
45r „	Der Brunnen-, Röhren-, Pumpen- u. Spritzen-Meister	1	10
46r „	Stratingh, Bereitung und Anwendung des Chlors	—	15
47r—49r Bd.	Matthaey, Handbuch f. Zimmerleute. 3 Bde.	5	15
50r Bd.	Grandpré, Handbuch der Schlosserkunst	1	15

Bd.	Titel	Rthlr.	Sgr.
		1	7½
51r Bd.	Matthaey, Ofenbaumeister	1	15
52r „	Matthaey, die Kunst des Bildhauers	1	15
53r „	Lebrun, Klempner und Lampenfabricant	—	15
54r „	Thon, Kupferstecher- und Holzschneidekunst	1	15
55r „	Thon, Lehrbuch der Reißkunst	2	—
56r „	Bastenaire, weißes Steingut zu machen	4	—
57r u. 58r Bd.	Weinhold, Handb. d. Mühlenbaukunst. 2 Bde.	1	—
59r Bd.	Lebrun, Verfertigung von Papparbeiten	—	7½
60r „	Thon, Anleitung, Meerschaumköpfe ꝛc.	1	15
61r „	Matthaey, der vollkommene Dachdecker	—	15
62r „	Leng, Lehrbuch der Gewerbskunde	—	20
63r „	Bürck, Juwelier, Gold- und Silberarbeiter	1	20
64r „	Elliar, Riemer und Sattler	2	—
65r „	Beckmann, Wagner, Stellmacher u. Chaisenfabricant		
66r—67r Bd.	Verdam, Grundsätze der Werkzeugswissenschaft und Mechanik. I. Thl. 1½ Rthl. — II. Thl. 3 Rthl.	4	15
		1	—
68r	Grison, Färberei d. wollenen, wie d. gemischten Modezeuge		
69r „	IV. Thl. 1r—2e Abth. A. u. d. T.: Verdam Dampfmaschinen zu beurtheilen und zu erbauen.	2	15
		—	15
70r „	Krüger, Goldleisten und Bilderrahmen	—	—
71r „	Gieswald, Thermometrie	2	15
72r Bd.	Schmidt, Handbuch der Zuckerfabrication	5	—
73r u. 74r Bd.	Lenormand, Handb. d. Papierfabrication. 2 Bde.	—	15
75r Bd.	Schumann, durchsichtiges Porzellan anzufertigen	1	—
76r „	Nordenburg, Ventilatoren	1	—
77r „	Schmied, Korb- u. Strohflechtekunst u. d. Siebmacherei	—	15
78r „	Treutler, Construction der Sonnenuhren	2	20
79r „	Leng, Handbuch der Glasfabrication	3	10
80r u. 81r Bd.	Hartmann, Metallurgie f. Künstler ꝛc. 2 Bde.	—	—
82r Bd.	Siddon, Schleifen und Poliren	1	10
83r „	Greener, Gewehrfabrication	—	15
84r „	Leng, der Handschuhfabricant	—	25
85r „	Landrin, die Kunst des Messerschmiedes	2	—
86r „	Rösling, Beinschwarz-Fabrikation	1	7½
87r „	Thon Staffirmalerei und Vergoldungskunst	1	22½
88r „	Bastenaire, Kunst, Töpferwaare zu fertigen	—	22½
89r „	Thon, Klavier-, Saiten-Instrumente	1	5
90r „	Barfuß, Geschichte der Uhrmacherkunst	—	25
91r „	Wölfer, Seilerhandwerk	—	20
92r „	Hamberger, Lustfeuerwerkerei	1	15
93r „	Ure, Handbuch der Baumwollenmanufactur	—	10
94r „	Weber, Bildformer und Gypsgießer.	—	20
95r „	Thon, Anleitung zum Branntweinbrennen	1	22½
96r „	Schmidt, Grundsätze der Bierbrauerei	—	25
97r „	Hartmann, Probirkunst	—	10
98r „	Janvier, Construction der Dampfschiffe	2	15
99r „	Bergmann, Mühlenbauer ꝛc.	2	15
100r „	Verdam, Werkzeugswissensch. IV. Thls. Ergänz.-Bd.	1	22½
101r „	Höhne und Rösling, der Kupferschmied	1	7½
102r „	Barfuß, die Kunst des Böttchers ꝛc.	2	15
103r „	Hartmann, Handbuch der Metallgießerei	—	20
104r „	Schmidt, Feuerzeugs-Praktikant	1	15
105r „	Reimann, Kunst des Posamentirers	3	7½
106r „	Sennewald, Linnen- ꝛc. Weberei	1	
107r „	Thon, Holzbeizkunst	—	15
108r „	Wallack, Gürtler und Broncearbeiter	—	22½
109r „	Zerrenner, Hufschmied	2	—
110r „	Schmidt, Handbuch der gesammten Lohgerberei	1	—
111r „	Schmidt, die Lederfärbekunst	—	20
112r „	Hartmann, Brennmaterialkunde	1	5
113r „	Handbuch der Pulverfabrication	—	10
114r „	v. Könneritz, Schleifen der Edelsteine	—	15
115r „	Kühn, Kammmacher	2	20
116r „	Handbuch des Seidenmanufacturwesens		

		Rthl.	Sgr.
117r	Bd. Schmidt, Farbenlaboratorium	2	—
118r	„ Schmidt, Emaillfarben-Fabrication	—	22½
119r	„ Hoppe, Bürstenfabricant	—	22½
120r	„ Scherf, Waidindigküpe	—	10
121r	„ Diete, Lehrbuch für Schneider	—	15
122r	„ Hartmann u. Schmidt, Wollmanufactur	1	—
123r	„ Walker, Galvanoplastik	—	22½
124r	„ Hartmann, artesische Brunnen	1	7½
125r	„ Schmidt, Illuminirkunst	1	7½
126r	„ Schmied, Schirmfabricant	—	7½
127r	„ Flachat, Locomotivführer I.	1	25
128r	„ Choimet, Maschinen-, Flachs- und Hanfspinnerei	2	7½
129r	„ Alsing, Spritzenfabricant	1	22½
130r	„ Schmidt, Kürschnerkunst	—	25
131r	„ Schmidt, Büchsenmacherkunst	1	7½
132r	„ Scherf, Kleinigkeitsfärberei	1	7½
133r	„ Schmidt, Kunst des Vergoldens ɪc.	—	22½
134r	„ Hertel's Academie der zeichnenden Künste	2	22½
135r	„ Schmidt's Handbuch der Baumwollenweberei	—	15
136r	„ Thon, Kittkunst	—	15
137r	„ — Löthkunst	—	15
138r	„ Henze's Handbuch der Schriftgießerei	—	15
139r	„ Geest, Handbuch der Kattunfabrication	—	7½
140r	„ Boutereau, Treppenbau	1	10
141r	„ Geest, Baumwollfärberei	—	25
142r	„ Peclet, Feuerungskunde	3	10
143,44r	Bd. Leblanc, Maschinenbauer. 2 Thle.	3	10
145r	Bd. Jeep, calorische Maschine	1	5
146r	„ Brongniart, Porcellanmalerei	1	7½
147r	„ Hampel, Gemälderestauration	—	20
148r	„ Hertel, Bautischler	2	—
149r	„ Weinz, Fleischer- und Wurstlergeschäft	—	25
150r	„ Fournel, Zimmeröfen	—	17½
151r	„ Schmidt, Papiermaché	—	12½
152r	„ Ritchie, Eisenbahnwesen	—	15
153r	„ Schmidt, Bäckerhandwerk	1	10
154r	„ Huguenet, über den Asphalt	—	12½
155r	„ Ludowig, Bleiweißfabrication	—	7½
156r	„ Jeep, Festigkeit der Materialien	1	25
157r	„ Gilroy, Handbuch der Webekunst	4	—
158r u. 159r	Bd. Gronvelle, Dampfmaschinenkunde I. u. II.	4	—
160r	Bd. Hartmann, Führer bei'm Schürfen	1	5
161r	„ Hartmann, Hohofen- und Hammermeister	1	—
162r u. 163r.	Persoz, Handb. d. Zeugdrucks. 2 Thle.	1	10
164r	„ Ludowig, Kartoffelbier	—	10
165r	„ Schmied, Gypsfiguren	—	10
166r	„ Greinmann, Luftschifffahrtskunde	—	10
167r	„ Hartmann, mineral. Brennstoffe	1	20
168r	„ König, Schlosserkunst	1	7½
169r	„ Harzer, Huf- und Grobschmied	2	7½
170r	„ Harzer, Siegellackfabrication	—	7½
171r	„ Schreiber, Uhrmacherkunst	2	15
172r	„ Hay, Farbenharmonie	—	15
173r	„ Schmidt, Formschneidekunst	—	5
174r	„ Brandeln, Electrochemie	—	22½
175r	„ Harzer, Magnet- Electrizität	—	7½
176r	„ Vollständiger Schreibmaterialist	—	10
177r	„ Schreiber, Glasblasekunst	1	—
178r	„ Holtzapfel, Werkzeugslehre I.	—	22½
179r	„ Holtzapfel, Werkzeugslehre II.	1	7½
180r	„ Queckett, Mikroskopie	1	—
181r	„ Hartmann, amerik. Mühlen	2	10
182r	„ — Gasbeleuchtung	1	—
183r	„ Schreiber, Tabacksfabrikant	1	—

			Rthlr.	Sgr.
184r	Bd.	Hertel, Perspective od. d. Lehre von d. Projectionen	1	15
185r	„	Herzberg, Handbuch der chemischen Fabrikenkunde	1	—
186r	„	Hartmann, vollständ. Handbuch der Metalldreherei	2	15
187r	„	Harzer, Turbinen	1	10
188r	„	— Drahtzieher	—	15
189r	„	Liraute, Straßen- und Canalbau	2	15
190r	„	Newth, Statik rc.	—	25
191r	„	Perini, Schweizerzuckerbäcker	1	10
192r	„	Flachat, Locomotivführer II.	1	25
193r	„	Smith, Färberei der Cobnrgs und Orleans	—	7½
194r	„	Schmidt, Kellereiwirthschaft	—	25
195r	„	— Kerzenfabrication	1	15
196r	„	Hartmann, Blechfabrikation	—	—
197r	„	Schmidt, Handbuch der Photographie I.	1	10
198r	„	— Korbwaarenkunde	—	7½
199r	„	— Wachs-Industrie	1	—
200r	„	Holtzapfel, Schleifen und Poliren	—	22½
201r	„	Harzer, Gutta-Percha	—	22½
202r	„	Kirsch, Portefeuillefabricant	1	7½
203r	„	Deon, Gemälderestauration	—	10
204r	„	Schreiber, Stubenmaler	—	20
205r	„	Planche, Papierfabrication	1	15
206r	„	Hartmann, Steinarbeiten	1	15
207r	„	Matin, Staffirmaler	1	20
208r — 211r	Bd.	Töpfer, Orgelbau. 4 Theile	12	—
212r	Bd.	Péclet, neueste Erfindungen von Feuerungsanlagen	—	25
213r	„	Schmidt, Saffianfabrication	—	20
214r	„	Harzer, Glockengießer	—	25
215r	„	Schmidt, Branntweinbrennereibetrieb	1	5
216r	„	Harzer, Münzkunst	—	15
217r	„	Schmidt, Weißgerberei	—	20
218r	„	Schmidt, die Photographie II.	1	15
219r	„	Schreiber, Fabrication künstlicher Blumen	1	—
220r	„	Franke, Handbuch der Buchdruckerkunst	1	15
221r	„	Payen, Runkelruben-Branntweinbrennerei	—	25
222r	„	Anquetil, Revolvers	—	22½
223r	„	Lohmann, Wassermühlen	1	20
224r	„	Burn, Dampfmaschinen	1	—
225r	„	Diedtmann, Rothpapp- und Dampffarbendruck	—	20
226r	„	Combes und Viollet, rauchverzehrende Oefen	—	20
227r	„	Schmidt, Kautschuk- und Guttapercha-Waaren	—	25
228r	„	Lardner, Telegraph	—	22½
229r	„	Gay-Lussac und Pouillet, Blitzableiter	—	5
230r	„	Schmidt, Beleuchtungsstoffe	—	25
231r	„	Hartmann, Waagen	—	15
232r	„	Schmidt, Saftgewinnung aus Runkelrüben	—	15
233r	„	Dumas, Brunneningenieur	1	5
234r	„	Knoderer, Lohgerberei	—	12½
235r	„	Hertel, Oelmalerei	1	10
236r	„	Ancelin, Wergspinnerei	1	—
237r	„	Hartmann's Verkokung der Steinkohlen	1	—
238r	„	Fermond, der Tabak als Culturpflanze	—	15
239r	„	Seidler, Berechnung der Fässer	—	15
240r	„	Benoit-Duportail, die Schrauben-Bolzen	—	20
241r	„	Hartmann, der prakt. Puddel- und Walzmeister	1	15
242r	„	Schreiber, Verschönerungskunst	—	17½
243r	„	Claudel u. Laroque, das Mauerhandwerk I.	1	15
244r	„	— — — II.	1	5
245r	„	Lichtenberg, die Seifenfabrikation	1	—
246r	„	Ramberg, Toilettenseifen	—	15
247r	„	Crookes, Retouchiren u. Coloriren der Photographien	—	12½
248r	„	Schmidt, Handbuch der Färberei	1	—
249r	„	Hartmann, Stahlfabrikation	1	22½
250r	„	Lindes, chemische Farbenlehre	—	12½

Neuer

Schauplatz der Künste und Handwerke.

Mit

Berücksichtigung der neuesten Erfindungen.

Herausgegeben

von

einer Gesellschaft von Künstlern, Technologen und Professionisten.

Mit vielen Abbildungen.



Einundsiebenzigster Band.

[illegible]'s Lehre von der Thermometrie.

Weimar, 18[illegible].
Verlag, Druck und Lithographie von B. F. Voigt.

Neuer

Schauplatz der Künste und Handwerke.

Mit

Berücksichtigung der neuesten Erfindungen.

Herausgegeben

von

einer Gesellschaft von Künstlern, Technologen und Professionisten.

Mit vielen Abbildungen.



Einundsiebenzigster Band.

Gieswald's Lehre von der Thermometrie.

Weimar, 1861.

Verlag, Druck und Lithographie von B. F. Voigt.

Lehre

von der

Thermometrie,

der Pyrometrie, Hygrometrie, Psychrometrie und Barometrie

in ihrer

Gesammtheit dargestellt und nach den Quellen, namentlich auch zum Gebrauch für Techniker, bearbeitet.

Nebst einem Anhange mit practischen Erläuterungen

von

Dr. Hermann Gieswald,

Oberlehrer an der St. Johannis-Realschule in Danzig.

Mit 14 Quarttafeln.

Weimar, 1861.

Verlag, Druck und Lithographie von B. F. Voigt.

Vorwort.

Da Gehler's physikalisches Wörterbuch seit einer langen Reihe von Jahren nicht fortgesetzt ist, schien es zweckmäßig, namentlich auch den Technikern, über die in der neuesten Zeit gewonnenen wissenschaftlichen Resultate der Thermometrie und Barometrie eine vollständige Uebersicht zu geben. Zu diesem Zwecke ist das vorhandene, allerdings nicht geringe Material in der Art benutzt worden, daß durch die vorgeführten Originalarbeiten dem ausführenden Künstler Gelegenheit gegeben ist, die Instrumente genau, mit Vermeidung aller Fehler, nachzubilden. Eine Kritik oder einige nur kurze Auszüge aus den größeren und wichtigeren Mittheilungen schienen deshalb nicht zweckentsprechend,

und somit ist die erstere nur theilweise geübt und der Vollständigkeit wegen, zum Vergleichen und Erweitern des Vorliegenden, eine reichhaltige Literatur beigefügt, die auch für jeden Physiker, der sich mit diesen Kapiteln beschäftigt, nicht ohne Werth sein dürfte. — Auf diese Weise wird hoffentlich dieses Repertorium sich auch in weitern Kreisen einen Eingang verschaffen.

Danzig im Sommer 1861.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniß.

Seite

Das Thermometer.

Das Pyrometer.

Das Hygrometer.

Das Psychrometer.

Das Barometer.

Verfertigung der Barometer.

Das Auskochen der Barometerröhren.

Die Conservirung der Luftleere.

A. Gefäßbarometer (Baromètre à reservoir).

Seite

G. Aneroïd-Barometer.

H. Metallbarometer.

I. Thermobarometer.

Barometrische Höhenmessung.

Seite

Anhang.

Abkürzungen in den Citaten.

Ann. Ch. phys. bebeutet:
Annales de chimie et de physique par Gay-Lussac, Arago, Chevreul. Dumas, Pelouze Boussignault et Regnault. — Paris.

Arch. ph. nat. bebeutet:
Archives des sciences physiques et naturelles par de la Rive, Marignac, Pictet, de Candolle etc. — Genève.

Berl. Acad. Ber. bebeutet:
Monatsberichte der Academie der Wissenschaften in Berlin.

Compt. rend. bebeutrt:
Comptes rendus hebdomaires des sciences de l'academie des sciences. — Paris.

Institut. bebeutet:
L'Institut; section des sciences mathématiques, physiques et naturelles. Dirigé par Arnault. — Paris.

Petersb. Acad. Bull. bebeutet:
Bulletin de la classe physico-mathématique de l'academie de St. Petersbourg.

Phil. Mag. bebeutet:
The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazin and Journal of Science conducted by Brewster, Taylor, Philipps and Kane. — London.

Pogg. Ann. bedeutet:
Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von Poggendorf. — Leipzig.

Sill. Am. J. bedeutet:
The American Journal of Science and Arts conducted by Silliman, Silliman jr. and Dana. — Newhaven.

Wien. Acad. Ber. bedeutet:
Sitzungsberichte der Academie der Wissenschaften zu Wien.

Das Thermometer.

§. 1.

Kurze Uebersicht über die Geschichte des Thermometers.

Beschreibung der bis dahin bekannten thermometrischen Apparate, Laboratorium Heft IV. Weimar 1826.

Arbeiten der Florentiner Akademie von Boerhave, Amontons. Muschenbroek, Fahrenheit u. s. w. **Young, Natural Philosophy II. 385.**

Untersuchungen der Commission **des poids et mesures. Base du Système metrique III, p. 137, 434 et seq.**

1) Libri: Galileo Galiläi's Leben und Wirken; aus dem Französischen von Carové. Siegen und Wiesbaden 1842. S. 21.
2) Libri: Ueber die Bestimmungen der Skale des Thermometers. **Annales de chim. et phys. Ser. 2. T. 45. p. 854** und Pogg. Ann. 21 p. 326.
3) **Sanctorii: Justinianopolitani commentariorum in artem medicinalem Galeni libri tres. Lugduni 1632. 4. p. 644.**
4) **Giovani battista della Porte I tre libri di spiritali. Napoli 1606. 4. p. 75.**
5) **Cornelii Drebelii tractatus de natura elementarum 1621.**
6) Libri a. a. O. Nr. 1 p. 24.
7) **Francisci Baconi opera omnia Francoforti ad Moenum 1665. f. f. 343. Novum organon. Aphor. XIII. 38.**

8) **Rob. Fludd alias de Fluctibus Philosophia moysaica. Goudae 1638. f. f. 2.**
9) Mertzer: Das bei strenger Kälte entlarvte Wetterglas. Hamburg 1709. 4.
10) Van Swinden: **Dissertation sur la comparaison des thermomètres. Amsterdam 1778, p. 36.**
11) Halley; **Phil. Transact. for 1693.** Nr. 197.
12) **De la Hire in hist. de l'acad. roy des sc. année 1706.**
13) **Dalencé: Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres. Amst. 1688.**
14) **Poleni: Instit. philosoph. exper.**
15) **Malpighi: Opp. posth. p. 30 et seq.**
16) **Borelli: De motu animal. VI. prop. 175.**

Was ein Thermometer oder Thermoskop (von θερμὸς warm und μετρέω ich messe oder σκοπέω ich sehe) ist, und wozu man es im allgemeinen anwendet, wollen wir hier nicht weitläufig auseinandersetzen, da wohl Jedermann den Zweck kennt. Interessanter wird es sein, nachdem wir einen kurzen Ueberblick über seine ersten Constructionen gegeben, auf die der Neuzeit angehörigen Untersuchungen über dasselbe und zu den Verbesserungen überzugehen, und der ältern Mittheilungen nur insofern Erwähnung zu thun, als sie zum Verständniß und zum Zusammenhange nothwendig sind.

Was also zunächst die Geschichte des Thermometers betrifft, so steht es wohl fest, daß schon vor dem Jahre 1597 Galiläi es erfunden hat. Sehr bald wurde indeß seine Erfindung durch Sagredo zunächst verbessert, und dann unter den Händen von Viviani, Torricelli und ihren Zeitgenossen ein brauchbares metereologisches Instrument· Es wurden im Anfange und in der Mitte des 17. Jahrhunderts unter der Leitung der Academia del Cimento ein sehr ausgedehntes System gleichzeitiger metereologischer Beobachtungen errichtet, an welchen sich am lebhaftesten Borelli in Pisa, Raineri zu Florenz, Cavalieri und Riccioli in der Lombardei nnd auf Befehl des Großherzogs Ferdinand II. die Mönche mehrerer Klöster in Toscana betheidigten.

Wir wollen hier gleichzeitig bemerken, daß neben Thermometerbeobachtungen sehr bald auch Ablesungen am Barometer und Hygrometer gemacht wurden. Das Barometer war 1642 von Torricelli erfunden und wurde bereits im folgenden Jahre zu Höhenmessungen benutzt. Wir heben diese Thatsachen hier besonders hervor, da meistens, aber irriger Weise, der Versuch von Pascal auf dem Puy de Dome, der aber erst im Jahre 1646 stattfand, als der erste dieser Art angeführt wird und berufen uns auf unsern Gewährsmann Berignardi in seinem Circulus Pisanus 7, p. 621. Ausgabe von 1643. Sehr bald darauf gebrauchte auch Borelli das Barometer, um das Wetter vorherzusagen. Ebenso ist auch das erste Hygrometer von Leonh. da Vinci gegen Ende des 15. Jahrhunderts verfertigt, und erst im 17. construirte Folli de Poppi ein Hygrometer mit Rädern. — Durch alle diese Instrumente sammelte man eine große Menge von Beobachtungen, die zu einer gründlichen Kenntniß der mittleren Temperaturen verschiedener Orte geführt haben würden, wenn nicht politische Beweggründe dem Fürsten Leopold von Medicis, dem Beschützer der Academia del Cimento, Veranlassung gegeben, sich um den Cardinalshut zu bewerben, der ihm nur unter der Bedingung bewilligt wurde, daß er sich von der, urch das Andenken Galiläi's der römischen Curie so verhaßt gewordenen Academia zurückziehe. — Bei der Auflösung dieses Institutes sehen wir nicht nur die Akademiker, wie Borelli und andere, dem Hunger und dem Verderben Preis gegeben, sondern wir erfahren, daß Oliva, die Knochen von der Folter halb zerquetscht, sich entleibt, um neuen Qualen, mit denen die Inquisition ihn bedroht, zu entgehen. Es werden die Handschriften Galiläi's und seiner Schüler verbrannt, und nur einem Zufalle kann man es verdanken, daß der Pater Raineri, ein Schüler Galiläi's, im Kloster degli Angeli zu Florenz, einen Band dieser Thermometerbeobachtungen

1*

zu erhalten wußte. — Aus diesen Beobachtungen, in denen zwar einige Lücken sind, ersehen wir jedoch, daß die Akademiker an je zwei Thermometern täglich fünfmal die Temperatur absahen, indem sie mit großer Vorsicht gleichzeitig die Instrumente gegen die Strahlung der umgebenden Körper schützten, um nur den Temperatureinfluß zu erhalten. Wir sehen daraus auch widerum deutlich, daß sie nicht nur die Reflexion der leuchtenden, sondern auch die der dunklen Wärme kannten, wie es auch ihre Beobachtungen über die Strahlung des Eises beweisen. — Was nun die Einrichtung dieser Thermometer betrifft, so wußte man, daß ihre Skale keine festen Punkte besaß; daß aber dennoch bei der Construction die Akademiker es wohl einzurichten verstanden, ihren kleinen Alkohol-Thermometern, mit einer in fünfzig Theile getheilten Skale, einen sehr übereinstimmenden Gang zu geben. — Obwohl schon Renaldini der Academia del Cimento, der bessern Vergleichung der Thermometer wegen, zwei feste Punkte für die Enden der Skale anzunehmen vorschlug, so soll doch zuerst Newton sie verfertigt haben. Nach den neuesten Forschungen ist Linné der erste gewesen, der seit der Thermometer-Construction von zwei festen Punkten ausging, es findet sich nämlich eine Stelle in der schriftlichen Correspondenz des großen Linné mit Herrn d'Hombre-Firmas, in welcher ersterer sagt: Ego primus fui, qui parare constitui thermometra nostra ubi punctum congelationis 0 et gradus coquentis aquae 100, et hoc pro hybernaculis horti; si his adsuetus esses, certus sum quod arriderent. — Erst im Jahre 1830 glückte es in Florenz einen Kasten zu entdecken, der unter vielen andern alten Instrumenten auch eine große Zahl von den in fünfzig Theile getheilten Thermometern der Academia del Cimento enthielt. Libri ([1] und [2]) hat sie mit der Skale von Réaumur verglichen, und mehr als zweihundert vergleichende Beobachtungen haben die Thatsache festgestellt, daß der Nullpunkt des Thermometers der Akademie dem 15. Grade Réaumur und der 50. Grad des ersteren

dem 44. Grade des letztern entspricht. Im schmelzenden Eise zeigte das Thermometer del Cimento 13½ Grade und dieser Standpunkt des Alkohol entspricht auch den Beschreibungen, welche die Akademiker von ihren Instrumenten geben, da sie ausdrücklich anführen, daß ihr Thermometer in zerstoßenem Eise um 13½ Grad falle. Da aber die jetzigen Beobachtungen ergeben, daß besagter Punkt etwas unter 13½ Grad liege, so geht daraus hervor, daß sich der Nullpunkt der Thermometer der Akademie nicht in die Höhe begeben habe, wie es sonst bei fast allen neuen Thermometern der Fall gewesen ist.

Das Angeführte liefert in kurzen Umrissen die als wahr anerkannten Thatsachen, uud wenn Sanctorinus (3), Porta (4), Drebel (5), Sarpi (6), Baco (7) und Fludd (8) ebenfalls als Begründer der Thermometer angegeben werden, so ersieht man wohl aus den Quellen, daß der eine oder der andere direct die von ihm in Erfahrung gebrachten Thatsachen nachgebildet oder verändert, oder wie Drebel einen Apparat construirt hat, dessen Dasein mit dem Zwecke der Thermometer in keinem Zusammenhange steht. — Als indeß später mehr und mehr die Thermometer von Drebel und Fludd neben denen der Academia del Cimento in Anwendung kamen, unterschied man die Florentiner oder Weingeistthermometer, denen man schon im Anfange des 18. Jahrhunderts die noch heute gebräuchliche Form (Taf. I. Fig. 1) gab (9), von der belgischen (Drebel) (Taf. I. Fig. 2) und neuen holländischen (Fludd) (Taf. I. Fig. 3). Wollten wir nun hier eine specielle Geschichte der Erfindung der Thermometer uud der weitern mechanischen Entwickelung derselben schreiben, so müßten wir Schritt vor Schritt weiter gehen und in chronologischer Ordnung die Veränderung in Form und Material verfolgen; da indeß unser Zweck ein anderer, so begnügen wir uns hier nur in Kürze, zunächst im Allgemeinen einige wesentliche Modificationen hervorzuheben. — Fahrenheit (10) be-

nutzte mit Vortheil die von Halley ([11]) und Amontons ([12]) gemachten Verbesserungen, indem er das vom erstern vorgeschlagene Quecksilber statt Weingeist nahm und den Siedepunkt, wie Amontons bereits gethan, als festen Punkt benutzte. Wir übergehen hier die neuern auf diesen Principien beruhenden, nur in anderer Form construirten Thermometer, von denen später gesprochen wird, und heben nur die für metereologische Betrachtungen einen großen Vortheil versprechenden Registerthermometer oder Thermometrographen hervor. Obwohl ihre Construction nur eine Modification des bekannten Thermometers, so sind sie diesem letztern in vielen Fällen vorzuziehen, und ihnen eine immer größere Vollkommenheit zu geben, ist das Streben der Physiker. Die geistreiche Idee Uhrthermometer zu construiren, wurde von Bessel sehr beifällig aufgenommen, während die Constructionen der verschiedenen Metallthermometer gerade keinen sehr wesentlichen Nutzen für die Meteorologie gebracht haben. Daß aber das Hygrometer, das Psychrometer und das Differentialthermometer aus den verbesserten Thermometerconstructionen hervorgegangen sind, werden wir später sehen. Unabhängig von diesen Principien der Ausdehnung sind die ebenfalls später zu erwähnenden thermo-electrischen Ketten, die ihrer Empfindlichkeit wegen, zur Messung sehr geringer Wärmequellen angewendet werden, während die höchsten Hitzegrade wieder durch die Ausdehnung der edlen Metalle in der Pyrometrie bestimmt werden.

§. 2.

Die thermometrischen Substanzen.

1) Dulong und Petit: Ueber die Ausdehnung der Körper. Annal. de chim. T. VII.
Bemerkungen hierüber Pogg. Ann. Bd. 41 p. 449 von Poggendorff.

2) F. Rudberg: Ueber die Ausdehnung der trocknen Luft, zwischen 0° und 100° Pogg. Ann. 41 p. 271.
Stützt sich auf die erste Arbeit von Gay-Lussac: Die Ausdehnung der Luft, **Annal. de chim. Ann. X Tom. 43 p. 165** und La Place: **Méchanique céléste T. IV. p. 270.**
3) Gustav Magnus: Ueber die Ausdehnung der atmosphärischen Luft, in höheren Temperaturen Pogg. Ann. 57 p. 177 und Pogg. Ann. 55 p. 1.
4) V. Regnault: Ueber den Vergleich des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer. **Annal. de chim. Ser. III. T. V p. 83** und Pogg. Ann. 57 p. 199.
5) Isidore Pierre: Ueber den Vergleich des Luftthermometers mit Flüssigkeitsthermometern. **Comptes rendus T. 27 p.** 213 und Pogg. Ann. Bd. 76 p. 458.
6) Leopold Gmelin: Handbuch der anorganischen Chemie 5. Auflage Bd. III. p. 468.
7) Regnault: **Relation des experiences entreprises etc. 1847 p. 271.**
8) **Izarn dans Millon et Reiset's Annuaire de chimie 1848 p. 498.**
9) Pohl und Schabus: Wiener Akad. Berichte VIII. 275.
10) Militzer: Pogg. Ann. 80 p. 55
11) Frankenheim: Ueber Capillar-Senkung des Quecksilbers. Pogg. Ann. 75 p. 229.
12) T. P. Danger: Ueber die Höhen der Menisken, welche die Oberfläche des Quecksilbers in Glasgefäßen darbietet. **Compt. rend. 27 p. 381** und Pogg. Ann. 76 p 297.
13) Regnault: Vergleichung des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer. **Ann. de chim. et de phys. Ser. 3 T. 5** und Pogg Ann. 57 p. 213.
14) Magnus: Ausdehnung der atmosphärischen Luft in höheren Temperaturen. Pogg. Ann. 57 **p. 194.**
15) Faraday: Ueber den Weingeist. Pogg. Ann. Bd. 64 **p. 171.**
Natterer: Ueber den Weingeist cit. Pogg. Ann. Bd. 62 p. 134.
16) Biot: **Traité expérimentale et mathématique de phys. Paris 1816. T. 1 p. 226.**
17) Munke in Gehlers phys. Wörterbuch. Leipzig 1825. Bd. I. p. 923.
18) Pierre: **Ann. de chim. et de phys. Ser. 3. 15, 354.**
19) Kopp: Pogg. Ann. Bd. 72 p. 60.
20) Rankine: **Edinburgh. New. philos. journal 1849.**
21) De Luc. Untersuchungen über die Atmosphäre, aus dem Französischen. Leipzig 1776. §§. 415, 418 und 426.
22) Pleischl. Ein neues Thermometer, oder richtiger bezeichnet, Kryometer. Pogg. Ann. Bd. 63 p. 115.

Was nun die thermometrischen Substanzen anbetrifft, so unterscheiden wir zunächst die Flüssigkeiten und die Glasmasse.

A. Die Flüssigkeiten.

Von den elastisch- und tropfbarflüssigen Körpern wollen wir zunächst, hier nur: die atmosphärische Luft, das Quecksilber, den Weingeist, das Steinöl und den Schwefelkohlenstoff näher betrachten.

1) Die atmosphärische Luft. Gay-Lussac eröffnete die Reihe der Untersuchungen und stellte ein Gesetz auf, das später durch die Untersuchungen von Dulong und Petit ([1]) bestätigt wurde, daß nahezu alle permanenten Gasarten bei gleichem Luftdrucke und bei gleichen Temperaturveränderungen sich um gleichviel ausdehnen, und daß diese Ausdehnung der Wärmezunahme proportional ist, so lange die Gase dem Punkte nicht nahe sind, bei welchem sie durch die Kälte tropfbar flüssig werden. — Daraus geht auch hervor, daß zwei Gase bei gleichen Temperaturen und gleichem Druck stets dasselbe Dichtigkeitsverhältniß haben. —

Die Größe der Ausdehnung der atmosphärischen Luft hatte jene Beobachter von 0° bis 100° zu $\frac{3}{8}$ oder 0,375 gefunden. Gegen diese Annahme erhob zunächst Rudberg ([2]) Zweifel, indem er 0,365 fand, eine Zahl, die nicht nur mit der von Bessel angegebenen stimmte, die er bei seinen Berechnungen über die Ausdehnsamkeit der Luft durch die astronomische Strahlenbrechung fand, sondern die auch von Magnus ([3]) und Regnault ([4]) nach einer Prüfung vermittelst neuer Methoden anerkannt ist, indem sie für Luft den noch heute feststehenden Ausdehnungscoefficienten 0,003665 fanden. Von welcher Wichtigkeit diese Untersuchungen sind, werden wir später bei dem so wichtigen Luftthermometer ersehen. Daß die Luft, die man zu den Untersuchungen beim Luftthermometer anwendet,

vollkommen trocken sein muß, versteht sich von selbst, ja es genügt nicht nur, wie wir aus eigenen Erfahrungen wissen, die Luft über Chlorcalcium zu leiten, sondern es ist vorzuziehen, sie durch eine Röhre, die theils mit Aetzkali theils mit Schwefelsäure gefüllt ist nochmals, nachdem sie über Chlorcalcium gegangen ist, zu treiben, damit sie frei von den mechanisch beigemengten Stoffen wie Kohlensäure, Wasserdämpfen u. s. w. werde. — Als Vergleichungsinstrument, mit den Siedepunkten und den Volumenszunahmen von 0° bis zum Siedepunkt vieler Flüssigkeiten, hat das Luftthermometer in den neuesten Zeiten Isidor Pierre ([5]) angewendet. —

2) Das Quecksilber. Da das Quecksilber selten rein vorkommt ([6]), wenigstens selten sich in dem reinen Zustande vorfindet, in welchem es nur bei guten Thermometern angewendet werden kann und muß, so hat man es zunächst von den gröbern, häufig nur mechanisch beigemengten Stoffen zu befreien. Dieses geschieht dadurch, daß man es in einen, am besten aus Gemsleder gearbeiteten Beutel schüttet und diesen dann stark mit den Fingern zusammendrückt; das durch die Poren des Leders dringende Metall fällt in kleinen Tropfen, dem feinen, silberartigen Regen gleichend, heraus. — Um es von den nun noch chemisch mit ihm verbundenen Metallen, z. B. Silber, Blei, Zinn, Kupfer u. s. w. zu befreien, unterwirft man es einer Destillation, indem man zum Theil eine Porzellanretorte damit anfüllt, es mit einer Schicht Eisentheile bedeckt und dann die Retorte mit einem Vorstoße und einem Recipienten versieht, den man in Eis oder kaltes Wasser setzt und nun den Proceß durch Erwärmung der Retorte mittelst eines anfangs schwachen, später stärkeren Feuers beginnen läßt. Das sich leicht verflüchtigende Quecksilber trennt sich von seinen Verbindungen, die noch von der Verflüchtigung durch die deckende Eiseifeilicht-Schicht aufgehalten werden, und fällt gereinigt in den Recipienten. Daß man die Retorte gut verkitten muß, ist selbstverständlich. — Gut ist es, wenn man das auf die

beschriebene Weise erhaltene Quecksilber noch mit $\frac{1}{8}$ in Wasser gelöstem salpetersaurem Quecksilberoxydul oder mit sehr verdünnter Salpetersäure kocht. — Auch kann man das erhaltene Quecksilber noch mit concentrirter Schwefelsäure schütteln (Branchi). Will man erkennen, ob das Quecksilber chemisch rein ist, so hat man folgende Proben zu machen: In Salpetersäure gelöst, abgedampft und geglüht, oder mit Schwefel zusammengeschmolzen und im Glaskolben sublimirt, darf es keinen Rückstand hinterlassen. — Beim Fließen auf einer schwach geneigten Ebene, muß es abgerundet bleiben, darf keinen Schweif ziehen und darf beim Schütteln in einer Flasche mit trockener Luft kein schwarzes Pulver geben. — Der Gefrierpunkt liegt nach Hutchins bei — 39, 44° C., der Siedepunkt bei 360° C. (Dulong und Petit), bei dem es sich in farblosen Dampf von 1,262 spec. Gewicht verwandelt. Der Dampf erhebt sich jedoch auch schon zwischen + 15,5° und 27°, aber nicht mehr bei — 6,7° C. — Die dadurch erzeugten Spannungen sind indeß äußerst gering. — Nach Regnault (⁷) verhält es sich folgendermaßen mit der absoluten Ausdehnung des Quecksilbers: Ist das Volum desselben bei 0° = 1, so ist es bei t° Luftthermometer:

$$1 + 0{,}000179007\,t + 0{,}0000000252316\,t^2.$$

Bei 50°=1,009013 150°=0,027419 250°=0,046329
„ 100°=1,018153 200°=0,036811 300°=0,055973.

Unter Zugrundelegung dieser Ausdehnung hat Izarn ([8]) seine Reductionstafeln berechnet, auf die wir später beim Barometer namentlich zurückkommen. Ebenso ist später von Pohl und Schabus ([9]) in Wien eine Reduction angefertigt. Militzer ([10]) hat später Tabellen, auf den Mittelwerth der Ausdehnung von 0,00017405 ± 0,00000083 gegründet zur Reduction berechnet.

Von Wichtigkeit sind die von Frankenheim([11]) angestellten Versuche über die Capillar-Senkung des Quecksilbers. Die Senkung des Quecksilbers in en-

gen Röhren ist nach Biot (traité de phys. I. 448) davon abhängig, daß die Cohäsion der Quecksilbertheile untereinander größer ist als die doppelte Adhäsion des Glases zu denselben. Frankenheim leitet nun die mit der Temperatur zunehmende Depression davon ab, daß die Cohäsion des Quecksilbers und die Adhäsion der Röhrenwände gleichzeitig eine Verminderung erfahren. Die Einbiegung der Oberfläche des Quecksilbers gegen den Rand hin erschwert die Bestimmung des Inhaltes von Glasgefäßen, die durch jenes flüssige Metall abgeschlossen oder theilweise damit gefüllt sind. — Die genaue Ermittelung des Inhaltes setzt die Kenntniß der Lage einer Ebene voraus, welche das Quecksilber zwischen dem niedrigsten und höchsten Punkte des Meniskus so durchschneidet, daß die darüber stehende flüssige Masse die darunter befindliche Leere gerade ausfüllt. Die Lage dieser Ebene hat Danger ([12]) ermittelt. Wir begnügen uns hier, ohne seine Untersuchungen näher zu beleuchten, mit den Resultaten, die er in folgender Tabelle veröffentlicht hat. Alles in Millimeter ausgedrückt, bezeichnet A den innern Durchmesser der Glasröhre, B die Erhebung des Meniskus-Gipfels über, C die Senkung der Meniskus-Basis unter den Glasrand, D die ganze Höhe des Meniskus. — Die Bestimmungen gelten für die Temperatur von 15° C.

A	B	C	D	A	B	C	D
1	0,178	0,143	0,321	12	0,637	0,988	1,625
2	0,301	0,261	0,571	14	0,610	1,056	1,666
3	0,410	0,369	0,779	16	0,570	1,110	1,680
4	0,468	0,467	0,953	18	0,530	1,157	1,687
5	0,544	0,558	1,102	20	0,495	1,190	1,685
6	0,584	0,643	1,218	24	0,455	1,224	1,679
7	0,610	0,710	1,320	30	0,355	1,325	1,670
8	0,630	0,782	1,412	40	0,248	1,415	1,663
9	0,639	0,844	1,483	50	0,187	1,480	1,667
10	0,643	0,910	1,543	60	0,178	1,540	1,718

Wir führen nun gleichzeitig, als in die Reihe der Betrachtung über die Ausdehnung des Quecksilbers gehörig eine Vergleichung des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer nach Regnault ([13]) an.

Thermometer.

Luft.	Quecksilber.
0°	0,0°
50	50,2
100	100,0
150	150,0
200	200,0
250	250,3
300	301,2
325	326,9
350	353,3

Wir sehen hieraus, daß die Ausdehnung des Quecksilbers bei der gewöhnlichen uns umgebenden Temperatur mit der Ausdehnung der Luft nahezu übereinstim-

mend und nur in höhern Temperaturgraden abweichend ist. Wir lassen der Vollständigkeit wegen nun noch die Ausdehnung, die durch Magnus ([14]) angegeben, folgen:

Ausdehnung.

Scheinbare des Quecksilbers.	Scheinbare der Luft.	Absolute der Luft nach: Magnus.	Dulong u. Petit.
100°	100,00°	100,00°	100,00°
150	148,07	140,74	148,70
200	196,34	197,49	197,05
250	242,97	245,39	245,05
300	291,16	294,51	292,70
330	316,94	320,92	—
360	—	—	350,00

Was schließlich die Ausdehnung des Quecksilbers betrifft, so sind für uns noch immer die Bestimmungen von Dulong und Petit maßgebend, die für die Erwärmung von 0° bis 100° C. $\frac{1}{55,5} = 0,018018$ fanden. Sie haben ihr Verfahren nicht näher angegeben, sondern nur das Princip näher bezeichnet, von dem sie ausgingen. Sie maßen nämlich die Längen zweier im Gleichgewicht stehender und ungleich warmer Quecksilbersäulen, bei denen sich dann die Längen umgekehrt wie die specifischen Gewichte der Säulen verhalten. Auf diese Weise kann man die wahre Ausdehnung des Quecksilbers unabhängig von der des Glases und jedes andern Körpers finden, aber freilich nur für diejenigen Temperaturen, die gleichfalls unabhängig von der Ausdehnung irgend eines Körpers gefunden werden können, also nur für Schmelz- und Siedepunkt. Die beiden Beobachter scheinen aber diese Temperaturen nicht gewählt zu haben, deshalb dürfte vorläufig das genaue Resultat in Zweifel gezogen werden. Im Uebrigen verweisen wir auf die unter ([1]) von Dulong und Petit erwähnte Arbeit.

3) Der Weingeist. Der Weingeist ist auch jetzt noch als thermometrische Substanz für die Wintertemperaturen der arktischen Länder unentbehrlich, da er selbst, ohne rectificirt zu sein, diese Temperaturen ohne zu erstarren erträgt. Man erhält den reinen, wasserfreien Weingeist, den Alkohol, wenn man den wasserhaltigen Weingeist mehrmals rectificirt. Dann füllt man eine Retorte zu zwei Drittheilen mit Stückchen von gebranntem Kalk (oder mit geglühtem kohlensaurem Kali oder geschmolzenem essigsaurem Kali) und gießt den schon vorher rectificirten Weingeist darüber, so daß der Kalk kaum davon bedeckt ist; der Kalk löscht sich bald und die dabei frei werdende Wärme ist fast hinreichend, um den Weingeist bis zum Sieden zu erhitzen. Dann läßt man den Weingeist über dem Kalke einige Stunden lang stehen und destillirt sodann aus dem Wasserbade. Das Produkt muß nochmals über Kalk und geschmolzenem Kali rectificirt und dann am besten aus einem Chlorcalciumbade abdestillirt werden, bis drei Viertheile der Flüssigkeit übergegangen sind. — Man prüft, ob der Alkohol wasserfrei, wenn durch Zusatz der Flüssigkeit von wasserfreiem schwefelsaurem Kupferoxyd dieser Satz weiß bleibt. Wird er blau gefärbt, so ist noch Wasser darin enthalten (Casoria). — Setzt man zum Alkohol Benzol, so wird die Flüssigkeit getrübt, wenn sie Wasser enthält, dagegen mischt sie sich und bleibt klar, wenn der Alkohol absolut ist (Gorgey). — Der Alkohol siedet bereits bei 78° C. und haben auch schon unter dieser Temperatur die Dämpfe eine ansehnliche Dichte und Spannung, dagegen liegt nach Faraday und Natterer ([15]) der Gefrierpunkt weit unter — 66° F., da erst bei dieser Temperatur, die bekanntlich durch feste Kohlensäure künstlich erzeugt werden kann, der Alkohol dickflüssig, unserm fetten Oel bei gewöhnlicher Temperatur ähnlich ist. —

Die Ausdehnung des Alkohols bezogen auf die Temperaturen, wie sie das Quecksilberthermometer angiebt, ist keine gleichförmige. Man erhält nämlich, wenn

man das Volumen durch eine nach steigenden Potenzen der Temperatur geordnete Reihe ausdrückt, Coefficienten, die nahe von derselben Zahlgröße sind, wie sie der Ausdruck für das Wasser darbietet. Wir verweisen hier auf die Arbeiten, in welchen diese Reihen berechnet sind von Biot ([16]), Munke ([17]), Pierre ([18]), Kopp ([19]), Makquorn, Rankine ([20]) und de Luc ([21]), dessen Vergleichungsskale wir hier folgen lassen:

Vergleichung der Ausdehnung des Quecksilbers und Weingeistes nach de Luc.

Grade des Quecksilberthermom.	Grade des rectific. Weingeistherm.	Grade des Weingeistthermometers mit ⅕ Wasser verdünnt
80	80,0	80,0
75	73,8	73,9
70	67,8	67,8
65	61,9	61,8
60	56,2	56,2
55	50,7	50,5
50	45,3	45,0
45	40,2	39,8
40	35,1	35,0
35	30,3	30,1
30	25,6	25,5
25	21,0	20,8
20	16,5	16,3
15	12,2	11,9
10	7,9	7,9
5	3,9	3,9
0	0,0	0,0
— 5	— 3,9	
—10	— 7,7	

Wenn wir nun hier auch die Differenzen deutlich erkennen können, so behauptet doch Pouillet (compt. rend. 1837 T. 1), daß Thermometer, die mit gutem also absolutem Alkohol gefüllt sind unter dem Gefrier-

punkte einen regelmäßigen und mit dem Luftthermometer vollkommen übereinstimmenden Gang haben.

4) Das Steinöl. Das Steinöl (Petroleum) könnte, namentlich wenn es gut rectificirt ist, als thermometrische Substanz angewendet werden, da sie namentlich ebenfalls in der Kälte viele Vorzüge besitzt. Wir führen es aber hier nur mehr aus historischen als praktischen Gründen an, da der gute Alkohol durchaus nicht in irgend welcher Beziehung nachstehet. —

5) Der Schwefelkohlenstoff. Der erste, welcher Schwefelkohlenstoff (nach Lampadius Schwefelalkohol) als thermometrische Substanz anwendete, war Pleischl(22) in Wien. Er hat die Construction eines solchen Thermometers veröffentlicht, obwohl früher Gehler die Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffes untersuchte und diese Substanz zur Füllung von Thermometerröhren empfahl.

Pleischl(22) findet an einem von Kapeller in Wien construirten Instrumente die Uebereinstimmung mit einem Quecksilberthermomter als eine sehr genaue, doch muß man im Allgemeinen das Resultat in Zweifel ziehen, da einmal die Differenzen in den von ihm selbst veröffentlichen Tabellen zwischen Quecksilber- und Schwefelkohlenstoffthermometer sehr groß und er sie durch ziemlich unwissenschaftliche Gründe zu bewältigen sucht; dann weil nach den Untersuchungen Gay-Lussac's (Ann. de chim. et de phys. T. II p. 130) und Muncke's (Mém. present. à l'acad. de St. Petersb. T. II p. 483) die Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffs mehr der des Alkohols als der des Quecksilbers entspricht.

B. Die Glasmasse.

1) Ueber Dimension der Glasröhren Pogg. Ann. 11, pag. 529.
2) La Place und Lavoisier: über Correctionen der Ausdehnung der Glasröhren an Thermometern. Gilb. Ann. 26, pag. 161.
3) Dulong und Petit: über dasselbe. Pogg. Ann. 111, pag. 459 bis 466.

4) Hallström: dasselbe Pogg. Ann. 161, pag. 61.
5) Desprez: dasselbe Pogg. Ann. 41, pag. 66.
6) Magnus: dasselbe Pogg. Ann. 55, pag. 17.
7) Regnault: Untersuchungen Annal. de chim. et de phys. Ser. 3 T. 4 und Pogg. Ann. 55, pag. 584.
8) Joule et Playfair: Ausdehnung des Glases, Chem. Soc. Qu. I. L. 121.
9) Poggendorff: Die Ausdehnbarkeit der Glashülle, Pogg. Ann. 57, pag. 568.
10) J. J. Pierre: Ausdehnung des Glases, Ann. de chim. et de phys. Ser. 3, T. 5 und Pogg. Ann. 57 pag. 562.
11) Plücker und Geißler: Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände. Pogg. Ann. 86. pag. 238.
12) Kummer: Untersuchungen über Glasröhren, Gilb Ann. 59, pag. 302.

Das zweite wichtige Material bei der Anfertigung der Thermometer ist die Glasmasse, aus der Kugel und Glasröhre bestehen. Man bedient sich bekanntlich einer Glasröhre, die man zunächst der äußern Erscheinung nach für möglichst vollkommen cylindrisch hält, und untersucht dann durch ein bald zu erörterndes Verfahren, das Kalibiren, ob der innere Cylindermantel der Röhre überall gleiche Dimensionen hat. (1) — Bei den früheren Constructionen der Thermometer achtete man wenig auf das Material, indem man überhaupt annahm, daß zwei Quecksilberthermometer, die bei 0° und 100° übereinstimmten, auch eine Uebereinstimmung in allen Punkten der Skale zeigten. Seitdem nun La Place und Lavoisier (2) mit zuerst darauf aufmerksam machten, daß eine genaue Correction der angewendeten Glassorte wegen zu machen wäre, haben sich diesen Gründen später Dulong und Petit (3), Hallström (4) Desprez (5) und Magnus (6) angeschlossen, indeß übergehen wir diese ältern Verfahren, theils weil sie uns zu weit führen würden, theils aber auch weil die neuern Methoden sie in sich aufgenommen und vervollkommnet haben. Wir gehen zunächst zu den Resultaten Regnault's (7) über, die mit großer Genauigkeit ausgeführt sind und zu der Erkenntniß geführt haben, daß nicht nur die Ausdehnung

eine ungleiche, sondern innerhalb scheinbar gleicher Intervalle eine ungleichförmige ist. — Wir lassen hier die Resultate Regnault's folgen:

Cubische Ausdehnung des Glases zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte.

Weißes Glas, Röhre	0,002648
„ „ Kugel von 64mm Durchmesser	0,002592
„ „ „ von 32mm „	0,002514
Grünes Glas, Röhre	0,002299
„ „ Kugel von 36mm Durchmesser	0,002132
Schwedisches Glas, Röhre	0,002363
„ „ Kugel von 34mm Durchmesser	0,002441
„ „ „ von 32mm „	0,002411
Französisches Glas, Röhre	0,002142
Krystallglas, Röhre	0,002101

Diese Untersuchungen Regnault's sind genauer als die von Joule und Playfair [8] veröffentlichten, die nur im Allgemeinen für die Ausdehnung des Glases von 0° bis 100° C. den Coefficienten 0,002798 bestimmt haben, eine Zahl die größer als alle von Regnault untersuchten ist. — Poggendorff [9] hat nun noch aus Regnault's Resultate bewiesen, daß jedes Thermometer nur bei 0° und 100° geradezu die richtige Temperatur angiebt, sonst aber stets eine Correction verlangt, die noch nach der Ausdehnbarkeit der Glashülse verschieden ist. Sind nämlich nach Poggendorff's Entwickelung $1 + \triangle_t$ und $1 + \triangle_{100}$ die wahren Volume des Quecksilbers und $1 + \delta_t$ und $1 + \delta_{100}$ die wahren Volume des Glases in den Temperaturen t° und 100°, so wird die Zahl q_t der Grade, welche ein Quecksilberthermometer in der Temperatur t anzeigt, sein

$$q_t = \frac{\triangle_t - \delta_t}{\triangle_{100} - \delta_{100}} \cdot \frac{1 + \delta_{100}}{1 + \delta_t} \cdot 100$$

woraus das bereits Erwähnte hervorgeht, daß auch wenn selbst die Anwüchse Δ_t und δ_t den Temperaturen porportional sind, nur bei 0° und 100° der Thermometer die Temperatur geradezu angiebt u. s. w. Setzt man z. B. die Ausdehnung des Glases für 100° nach Regnault einmal zu 0,0025 und dann zu 0,0021 und nimmt an, die Ausdehnung des Quecksilbers wie die des Glases seien der Temperatur proportional, so findet man,

für wahre Temperatur.	Thermometerangabe.	
	$\delta_0 = 0{,}0025$	$\delta_0 = 0{,}0021$
50°	50,07°	50,05°
300°	298,51°	298,75°

Die Abweichung von der wahren Temperatur wäre also bei 50° respektive 0,07° und der Unterschied somit 0,02°. Bei 300° dagegen respective 1,49° und 1,25°, der Unterschied somit 0,24° und zwar im entgegengesetzten Sinne. —

Wenn nun Regnault darauf aufmerksam machte, daß Thermometer, die bei 0° und 100° genau übereinstimmten, bei 333° jedoch schon um 6,35° differirten, wenn das eine aus gewöhnlichem weißen Glase, das andere aus Krystallglas bestand, und somit zu dem Schluße kam, daß die Gläser, die den kleinsten Ausdehnungscoefficienten haben, einen mit der Temperatur weniger schnellen Anwuchs ihrer Ausdehnung erfahren, so werden diese Untersuchungen vollkommen durch J. J. Pierre (10) bestätigt. Er zeigt die Differenzen in der Mitte des Fundamentalabstandes, wenn die Instrumente, aus Krystallglas und aus weißem Glase gefertigt, mit einander verglichen werden. Somit geht aus diesen Untersuchungen hervor, daß die Glasmasse, aus der Kugel und Röhre geblasen werden, möglichst gleichartig sein muß, wenn das Thermometer genauen Anforderungen genügen soll. —

In der neuesten Zeit hat nun Plücker (11) ein Verfahren von Geißler mitgetheilt, nach welchem

Thermometer in Beziehung auf die Ausdehnung des Glases compensirt sind. — Zu diesem Zwecke bedient sich Geißler nicht der Thermometerröhren mit dicker Wandung, sondern zieht Haarröhrchen aus. Von diesen wählte er solche Stücke, die sich in Folge einer sorgfältigen Calibrirung mittels eines Quecksilberfadens in ihrer ganzen Länge als gleich weit erweisen oder deren unvermeidliche kleine Ungleichheiten sich durch die Theilmaschine corrigiren lassen. — Diese schmelzt er an den das Quecksilber aufnehmenden Cylinder an. An denselben Cylinder wird eine weitere Glasröhre angeschmolzen, die das Haarröhrchen anschließt und die Scale trägt. — Diese ist von weißem durchscheinenden Milchglase und auf ihr liegt das Haarröhrchen unmittelbar auf. Dadurch wird das Ablesen des Quecksilberstandes in dem Haarröhrchen bequem und recht genau. Die Flüssigkeit, welche in den constanten Raum über das zur Compensation dienende Quecksilber gebracht wird und deren wahre Ausdehnung unmittelbar abgelesen wird, steigt nicht selbst in die Capillarröhre, sondern drückt, da diese Röhre mit ihrem untern Ende e, (Taf. I Fig. 4) bis nahe auf den Grund in das Quecksilber hineintaucht, nur auf dieses, so daß dasselbe, wenn die Flüssigkeit in Folge der zunehmenden Temperatur sich ausdehnt, in der Capillarröhre ansteigt. Um zu verhindern, daß das zur Compensation dienende Quecksilber in dem Cylinder herumgeworfen werde, und die Flüssigkeit oberhalb desselben in das Haarröhrchen dringe, befindet sich dasselbe in einem besondern Cylinder, der innerhalb des bereits erwähnten angebracht ist und blos an seinem obern Theile mit diesem durch eine feine Oeffnung o in Verbindung steckt. — Bei dieser hier besprochenen Compensation wird nur die Ausdehnung des Quecksilbers als bekannt vorausgesetzt. Die Ausdehnung der angewendeten Glasgefäße wird jedesmal auf direktem Wege bestimmt. — Nachdem zu diesem Zwecke zwar schon bei der Calibrirung der Capillarröhre das Gewicht des Quecksilbers, welches eine an einer willkürlichen gläsernen Skale gemessene

Länge dieser Röhre, bei einer bestimmten Temperatur, füllte, gewogen worden ist, wird nun zunächst die Quecksilbermenge bestimmt, die bei 0° den ganzen Apparat und die Capillarröhre bis zu einem bezeichneten Punkte ihres untern Endes füllt und dann ferner die Menge desjenigen Quecksilbers, das über den Punkt steigt, wenn der Apparat in einer während längerer Zeit constante Temperatur gebracht wird. Geißler bedient sich seiner Glaswaagen, die noch 0,1 mgr. deutlich anzeigen. Es bezeichne nun:

G das Gewicht der ganzen Quecksilbersäule,
g das Gewicht des über den bezeichneten Punkt ansteigenden Quecksilbers,
t° die entsprechende Temperatur,
q den Ausdehnungscoefficienten für einen Centesimalgrad,
x das Gewicht des zur Compensation nothwendigen Quecksilbercylinders,

so ergiebt sich:

$$(G - x)\, t\, q = g$$

$$\text{und } x = G - \frac{g}{t\, q}.$$

Bezeichnet ferner:

p die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers im Glascylinder,
r die cubische Ausdehnung des innern Raumes dieses Cylinders,

so ist:

$$p = \frac{g}{t\, G}$$

$$r = q - p,$$

g wird nun bestimmt, indem man den Cylinder des Apparates in Wasser taucht, dessen Temperatur constant gehalten und eine so hohe ist daß das Quecksilber bis nahe an's Ende der Capillarröhre getrieben wird. Das

Steigen des Quecksilbers wird in Theilen der willkürlichen Scale zugleich mit der Temperatur t^0 beobachtet und daraus g abgeleitet. Nachdem auf dem Harröhrchen der feste Punkt bezeichnet, wurde der Cylinder in die constante Siedehitze des Wassers gebracht und das Quecksilber, welches auslief, gewogen, und somit nach nahe liegenden unbedeuteten Correctionen der Werth von g für t = 100° gefunden.

Nachdem nun der, einer bestimmten Temperatur t^0 entsprechende Werth von g gefunden worden war, wurde das Quecksilber wieder herausgetrieben und die Menge desselben x, welche zur Compensation dient, abgewogen, in den innern Cylinder durch die Capillarröhre hineingebracht und dann zugeschmolzen. Dann wurde eine kurze Röhre m, welche einwärts an den äußern Cylinder angeschmolzen und in ein langes Haarröhrchen ausgezogen worden war, geöffnet und der constante vom Quecksilber übrig gelassene Raum mit derjenigen Flüssigkeit, deren wahre Ausdehnung beobachtet werden sollte, gefüllt. War diese z. B. Wasser, so wurde es längere Zeit in dem Apparate gekocht und dann, während fortdauernd das zur Füllung dienende Haarröhrchen in Wasser tauchte, dieser Apparat in schmelzenden Schnee gebracht. Hatte das Quecksilber dann den bezeichneten Stand erreicht, so wurde das Haaröhrchen in m abgeschmolzen. —

Dann wurde schließlich die willkürliche Scale durch eine anderer Art ersetzt, so daß deren Nullpunkt der bezeichnete Punkt war, und deren Theile 0,00001 des compensirten Volums (V — x) betrugen. In ähnlicher Weise wie Réaumur seine Thermometergrade dadurch bestimmte, daß sie der scheinbaren Ausdehnung von 0,001 des in der Glaskugel eingeschlossenen Alkohols betrugen, so entsprechen die Theile der Scale von Geißler der wahren Ausdehnung von 0,00001 der den compensirten Raum einnehmenden Flüssigkeit. Füllt man den Apparat ganz mit Quecksilber, so beträgt ein gewöhnlicher Centesimalgrad etwas mehr als 10 Geißler'sche Theile.

§. 3.

Das Blasen der Thermometerkugel und das Füllen der Thermometer.

1) Brugnatelli: Giornale. Dec. 1. Th. IV. p. 89. und Dec. 11. Th. II. p 292.
2) Gehler, alte Ausgabe. Th. IV. S. 346.
3) De Luc; Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. S. 611.
4) Biot: Traité générale de Physique. T. I.
5) Placidius, Heinrich, Schweiggers. Journ. Th. I. pag. 214 etc.

Bestimmte Regeln in Bezug auf das Blasen der Kugeln bei Thermometern lassen sich in der That nicht geben, der Praktiker muß durch Uebung dahin gelangen, eine vollkommene Kugel, am besten wohl vermittelst einer Flasche aus Kautschuk (1) (Gummi-elasticum), deren Luft aus- und in die Röhre hineingepreßt wird, zu blasen, da sonst die Wasserdämpfe und das beim Blasen herausgetriebene Wasser des Mundes die Röhre zu sehr befeuchten. Der gleichmäßige Druck muß so lange währen, bis die Kugel erkaltet ist. — Ebenso ist es unzweckmäßig, nach bestimmten, z. B. von Luz angegebenen Regeln, für bestimmte Instrumente, deren Röhrenlänge und Weite bekannt ist, Kugeln von bestimmter Größe zu blasen, da sich auch in dieser Beziehung dem Praktiker zu viele Schwierigkeiten entgegenstellen. Der ausführende Künstler muß durch Uebung die Fertigkeit im Abmessen der erforderlichen Größe erlangt haben. Somit haben auch die Formeln von Gehler (2) und Durand (3) (von de Luc mitgetheilt) keinen praktischen Werth.

Was nun das Füllen der Thermometer anbetrifft, so übergehen wir hier die älteren Methoden von Luz und Stromeyer, die vermittelst kleiner Trichterchen das Quecksilber in Kugel und Röhre bringen, und befolgen das noch immer sich als praktisch gut bewiesene Verfahren von Biot (4). — Man bläst nämlich am obern Ende der Röhre eine verhältnißmäßig große

Kugel an und zieht sie in eine feine Spitze aus, die man geöffnet läßt. Erhitzt man nun der Länge nach die untere Kugel und die Glasröhre und hält die Spitze in das präparirte Quecksilber, so bringt dieses schnell in die obere Kugel hinein. Da es nun nothwendig, daß nicht Luft noch Feuchtigkeit in die Röhre dringen — weil dadurch ein Abreißen des Quecksilberfadens in der Röhre bedingt wird — so erhitzt man das Quecksilber, bis es wirklich zum Sieden kommt, und erhält es so lange, bis die letzten Spuren von Luft und Feuchtigkeit entwichen sind. — Nun erhitzt man die untere weitere Thermometerkugel, kühlt sie dann ab und läßt somit langsam das Quecksilber aus der obern Hülfskugel in die untere hineinlaufen. Das überschüssige Quecksilber schüttet man nun oben aus. — Nun untersucht man vorläufig noch ganz allgemein, ob Röhre und Kugel ein solches Verhältniß haben, daß der Punkt des schmelzenden Schnee's ungefähr eine solche Lage hat, wie er zur Beobachtung der unter dem Nullpunkte gelegenen Grade nothwendig, und bringt dann so viel Quecksilber heraus, bis dieses der Fall ist. — Jetzt zieht man die Röhre unterhalb der Hülfskugel in eine feine Spitze aus, bricht die Kugel ab und erhitzt die Thermometerkugel so lange, bis der Quecksilberfaden so hoch gestiegen, daß die in der Spitze vorhandene Luft als verschwindend zu betrachten, und schmilzt die Röhre schnell zu. Da man das Quecksilber so stark erhitzt hat, daß die Spitze höher steht, als es der Fall sein würde, wenn die Kugel in siedendes Wasser getaucht würde, so kann man die obere Spitze nun noch rund abschmelzen. — Eine einfache Probe lehrt, daß die Röhre vollständig luftleer, wenn man den Quecksilberfaden umkehrt und Quecksilberfaden und innere Spitze der Glasröhre genau zusammenfallen, dann haben sich keine Lufttheilchen dazwischen angehäuft. — Bei aller Sorgfalt, mit der die Thermometer angefertigt werden, kommt es doch bisweilen vor, daß der Quecksilberfaden sich trennt, indem verschwindende Theile von adhärirender Luft oder Feuchtigkeit, namentlich da der

Luftdruck im Innern der Röhre aufgehoben, sich ausdehnen und Risse verursachen. — Man hilft diesem Uebelstande dadurch ab, daß man langsam auf die Kugel klopft und durch kleine Erschütterungen die Quecksilbermassen aneinander treibt, oder, wie Biot es vorschlägt, einen langen Faden an das eine Ende anbindet und durch Umschwingen eine Vereinigung herbeizuführen sucht. — Bei anders construirten Thermometern hat Heinrich (5) Methoden angegeben, die getrennten Enden eines Quecksilberfadens wieder zu vereinigen. —

Die Fundamentalpunkte.

§. 4.

A. Der Frostpunkt.

1) F. Rudberg: Ueber die Construction des Thermometers. **Kongl. Vetensk. Acad. Handling f. 434. p. 354** und Pogg. Ann. 40. p. 39.
2) Streit gegen Gourdon's Behauptungen über das Verändern des Gefrierpunktes. **Ann. de Chim. et de Physique.** Bd. 33, p. 424.
3) Bellani: Ueber das Schwanken des Frostpunktes. **Giorn. di Fis. Chim. etc. 1822. p. 68.**
4) Peclet: Ueber das Schwanken des Frostpunktes. **Bibl. univers. 1822.**
5) Gelin: Dasselbe. Kastner's Archiv. **III. p. 109.**
6) Flaugerges: Dasselbe. **Ann. de chim. et de phys. 21. pag. 331** und 33. **pag. 421.**
7) Eger: Dasselbe. Pogg. Ann. Bd. 11. p. 347, und Bd. 13. p. 33.
8) Rudberg: Dasselbe Pogg. Ann. 40. **pag. 413.**
9) Despretz: Ueber das Schwanken des Gefrierpunktes. **Compt. rend. 1837. II. p. 11.**
10) Person: Ueber das Verschieben des Nullpunktes an Thermometern. **Compt. rend. T. 19. p. 13.** und Pogg. Ann. 65. **pag. 370.**
11) Adie: Die Verrückung des Nullpunktes. **Edinb. new. phil. Journal. 49. 122.** und **Pharm. central. 1850. 732.**
13) Welsh: Anfertigung von Normalthermometern. **Instit. 1853. 426.**

Es ist eine längst bekannte Thatsache, daß man eine feste, bei allen Gelegenheiten gleiche Temperatur erhalten kann. Um sie darzustellen, bedient man sich zusammengeballten und mit destillirtem Wasser übergossenen Schnee's oder fein geschabten Eises, so daß eine halb durchsichtige Masse entsteht. In diese Masse setzt man die Kugel und den Theil der Röhre, der vom Quecksilber angefüllt ist, und sorgt dafür, daß überall die erkältenden Massen dicht anliegen. Dann sieht man, so oft man auch den Versuch wiederholt, daß das Ende der Quecksilbersäule einen bestimmten Punkt erreicht, und es kommt nun darauf an, diesen Punkt genau zu fixiren, da die Methode des bloßen Einritzens mit einem Diamanten, oder gar die, einen Seidenfaden an betreffender Stelle umzulegen, zu roh sind. Wir folgen daher in dieser Beziehung der genauen Methode von Rudberg (1). Man mache auf der Thermometerröhre, senkrecht gegen deren Länge und am besten in der Nähe des Nullpunktes, einen feinen Diamantstrich, und messe nun folgendermaßen genau den Abstand des Striches vom wahren Ende des Quecksilberfadens, also des Nullpunktes.

Man befestige die Röhre auf einer Metallplatte A B (Taf. I. Fig. 5) dadurch, daß man den in der Mitte bügelförmigen Messingstreif nun auf die Röhre legt und ihn, nachdem dazwischen eine dünne Korkschicht eingeschoben, mittels der Schrauben S, S befestigt. Die Messingplatte ist in der Mitte a b c d mit feinem Silber ausgelegt und mit einer so genauen Theilung versehen, daß 198 Theile derselben auf einen Decimalzoll gehen. Zur Ablesung dient das Mikroskop D E, welches von der Hülse G und dem Ständer N M P gehalten wird, mit seinem untern Ende M P die Platte A B umfaßt und damit verschoben werden kann. Das Fernrohr darf nur wenige Male vergrößern, damit das Ende der Quecksilbersäule und die darunter liegende Theilung gleichzeitig deutlich gesehen werden. Um die Parallaxe zu vermeiden, die durch die verschiedene Stellung des Auges gegen die Glasröhre bedingt wird, ist am obern Ende

der Röhre DE ein Deckel mit einem kleinen Loche o angebracht, und in der Röhre, etwa ½ Zoll vom Objectiv E ein messingenes Diaphragma, dessen kreisrunde Oeffnung einen Durchmesser von 1''' hält. Das Mikroskop ist nun immer so weit zu schieben, daß das Ende der Quecksilbersäule sich in der Mitte dieser Oeffnung befindet, wodurch die Parallaxe aufgehoben ist, weil das Auge durch die kleine Oeffnung o zu sehen gezwungen wird. Bei einiger Uebung kann man beim Ablesen durch Schätzung noch ⅛ eines Skalentheiles bestimmen. — Die Bestimmung der Lage des Nullpunktes geschieht nun so, daß man erst beobachtet, welchem Striche der Theilung der Diamantstrich entspricht, dann das Thermometer wieder in die Schnee- oder Eismischung setzt, und nachdem es darin längere Zeit gestanden, den das Ende der Quecksilbersäule berührenden Theilstrich abliest.

Der Abstand dieses Theilstriches von dem vorhergehenden ergiebt nun genau, wie viel Skalentheile der Nullpunkt über oder unter dem auf der Röhre befindlichen Diamantstrich liegt, und man kann nun die wahre Lage des Nullpunktes mit aller Genauigkeit bestimmen.

So genau nun auch diese Feststellung des Frostpunktes gemacht werden mag, sehr bald zeigt sich, daß — wenn man diese Bestimmung genau nach denselben Anordnungen wiederholt — der Nullpunkt sich verändert hat und in der Röhre höher gerückt ist, so daß mit ihm die ganze Skale einer langsamen und unregelmäßig fortdauernden Verschiebung auf der Röhre unterworfen ist. — Diese Beobachtung ist schon vor längerer Zeit gemacht worden, und Gourdon war einer der ersten (2) Beobachter, der sogar in Streit mit andern Physikern, die nur ungenau den Frostpunkt bestimmt, gerieth. Nach ihm traten 1822 Bellani(3) und Pictet (4) auf und bestätigten die von Gourdon behaupteten Thatsachen. Ihnen schlossen sich Gelin (5), Flaugergues (6), später Eger (7), Rudberg (8), Despretz (9), Person (10) und in den neuesten Zeiten Adie (11) und Welsh (12) an. —

Man hat nun genau nach der Ursache der Verschiebung des Nullpunktes geforscht und Rudberg hat sie in der Veränderung des Volumens der Kugel zu finden geglaubt. Wir wollen uns hier nicht auf die mannichfachen Hypothesen und theoretischen Untersuchungen über diesen Gegenstand einlassen, sondern verweisen in dieser Beziehung auf die angeführten Quellen; wir wollen aber einige praktische Bemerkungen über das Verhüten der Schwankungen folgen lassen. — Rudberg hat die Erfahrung gemacht, daß das Steigen des Quecksilberfadens durchaus verschwindend klein wird, wenn man das Thermometer erst längere Zeit nach dem Zublasen graduirt, dann die etwaigen geringen Veränderungen des Nullpunktes prüft und den Collimationsfehler der Skale berichtigt. Wir wollen hier als Resumé verschiedener Beobachtungen und aus eigener Erfahrung Folgendes hinzufügen: Schon Desprez hat gezeigt, daß der Behälter eines Thermometers, das erkältet wird, gewöhnlich nicht auf seine frühern Dimensionen zurückkommt. Daraus folgt, daß wenn man nicht lange genug erhitzt hat, um eine merkliche Zusammenziehung zu bewirken, der Nullpunkt sich nach dem Erkalten gesenkt erweist. Das Gegentheil findet statt, wenn man es lange erhitzt hat, und die Combination dieser beiden entgegengesetzten Effekte ist die Hauptursache der Unregelmäßigkeiten, die man in den Verschiebungen des Nullpunktes wahrnimmt. Somit wird die Veränderung in der That auf ein Minimum reducirt werden, wenn man 1) die Graduirung nach Rudberg erst nach längerer Zeit vornimmt, dann 2) das Quecksilber durch künstliche Erkältung längere Zeit (circa 60 Stunden nach Welsh) taucht und langsam erkalten läßt. Der Nullpunkt verändert sich dann nicht in der Regel, oder die geringere Veränderung bleibt dauernd.

§. 5.

B. Der Siedepunkt.

Ueber den Siedepunkt veröffentlichte Arbeiten.

1) Pariser Untersuchungen: **Base du système métrique. II. 753.**
2) Freycinet: **Voyage autour du Monde, Observation du pendule.**
3) Boussignault: } **Annales de chimie et de Physique.**
4) Rivers: }
5) Fleurian de Villeoues: Gilbert Ann. II. 359.
6) Gay-Lussac: Biot traité de Physique. I. 43.
7) Muschenbroek: **Introduction. ad phil. nat. 1603.**
8) Soldner: Gilbert Ann. 17 pag. 62.
9) Van Swinden: **Positiones physicae, II. 343.**
10) Eger: Pogg Ann. Bd. 11. pag. 282—286 und 517 Bd. 13 pag. 33.
11) Rudberg: Pogg. Ann. Bd. 40 pag. 48 bis 59.
12) Sabini: **On. Account. of Experiments to determine the figure of the earth. Pendulum and other experiments,** p 185.
13) Marcet; **Mém. de la Soc. de physique et d'histoire naturelle, de Génève, Tom. IX.** Pogg Ann. 57 pag. 218.
14) Peclet: Ueber das Sieden in Metallgefäßen. **Traité de physique, 2 édition. T. I. pag. 599.**
15) Regnault: Beschreibung eines Kessels um in siedendes Wasser das Thermometer zu bringen. Pogg. Ann. 55, Taf. IV, Fig. 6

Der zweite der genau zu bestimmenden Punkte ist der Siedepunkt, dessen Wichtigkeit bei der Construction der Thermometer schon von den ältesten Physikern anerkannt, jedoch nicht richtig bestimmt wurde, weil sie den Luftdruck — der von großer Wichtigkeit beim Sieden des Wassers — nicht beachteten. Wir führen hier zunächst die ältern Untersuchungen nur historisch an und berücksichtigen dabei auch die Arbeiten der Physiker, die den Einfluß des Barometerstandes auf den Siedpunkt bereits erkannten und der näheren Beobachtung unterwarfen. Vor allem waren es die Pariser Physiker (1), die anfänglich ihr Auge auf genauere Bestimmungen dieses Fundamentalpunktes richteten und speciell die

Franzosen Freycinet ([2]), Boussignault ([3]), Rivers ([4]), Fleurian de Billeoues ([5]) und Gay-Lussac ([6]). Ebenso beschäftigten sich damit: Muscheubroek ([7]), Soldner ([8]), Van Swinden ([9]), Egen ([10]), Rudberg ([11]), Sabine ([12]) und in der Neuzeit namentlich Marcet ([13]), so daß wir von den erwähnten nicht nur Theorieen, sondern praktische Versuche, die bei der Construction zu einer hinreichenden Genauigkeit geführt, veröffentlicht finden. — Der erste, der theils die vorhandenen Beobachtungen mit Geschick benutzte, theils durch neues schätzenswerthes Material erweiterte, war Egen. Die Form, welche er seinen Kesseln gab, welche das in Dampf zu verwandelnde Wasser enthielten, war eine neue, und man konnte hierbei die Beobachtungen vervielfältigen, indem mehrere Thermometer gleichzeitig mit ihren Kugeln beliebig in das heiße Wasser und auch in den Dampf gehoben werden konnten. —

Die Einwirkungen des Luftdruckes wurden mit größerer Genauigkeit beobachtet, dennoch erreichten seine Resultate nicht jenen Grad der Genauigkeit, den man von gründlichen physikalischen Untersuchungen erwartete. Wir wollen hier nur einen Beweis für das Gesagte anführen. Egen spricht Folgendes aus: „Ob die Temperatur des siedenden Wassers und seines Dampfes dieselbe sei, braucht gar nicht entschieden zu werden; wenn sich nur im Dampfe des siedenden Wassers ein Fixpunkt auffinden läßt, so genügt es vollständig den Anforderungen. Es ist sehr erwünscht, daß die Verhältnisse so stehen; denn die Temperatur des siedenden Wassers mit der Temperatur seines Dampfes so genau zu vergleichen, wie es hier gefordert werden müßte, würde sehr schwierig, vielleicht gar nicht ausführbar sein." — Man ersieht wohl hieraus, wie ungenau bei ihm die Feststellung des für das ganze Instrument so wichtigen Siedepunkts ist (denn wo liegt der Fixpunkt?); Egen erkennt die Wichtigkeit und scheut dennoch die Schwierigkeiten, die sich der Ausführung entgegenstellen. —

Exacter sind die Untersuchungen Rudberg's. Sie beziehen sich mit auf die Untersuchungen über das Verhältniß zwischen der Spannkraft und der Temperatur des Wasserdampfes, die bereits von Southern, Arago und Dulong ausgeführt waren. Rudberg betrachtet mit ihnen den auf 0° reducirten Mittelstand am Meeresspiegel oder den von 76 Centimeter als normalen Barometerstand. Die Temperatur 100° + t, bei welcher das Sieden geschieht, wenn der Barometerstand 76 Cm. ± δ ist, wird aus den Tafeln der eben erwähnten Physiker erhalten:

$$t = 0{,}037818\ \delta - 0{,}0018563\ \delta^2$$

woraus, wenn der Abstand zwischen dem Frostpunkte und dem bei 76 Cm. ± δ beobachteten Siedpunkte gleich l ist, der Abstand zwischen 0° und 100°, falls die Röhre vollkommen cylindrisch ist, wird

$$l = \frac{100}{100 \pm t}.$$

Gay-Lussac hatte zuerst die Einwirkung des Gefäßes auf die Siedehitze des Wassers untersucht und gezeigt, daß wenn man mit 100° die Siedehitze des Wassers in einem eisernen Gefäße bei einem auf 0° reducirten Barometerstand von 76 Cm. bezeichnet, die Temperatur, bei welcher das Wasser unter demselben Luftdrucke in einem Glasgefäße siedet, 101,23° ist. Rudberg's Untersuchungen ergaben eine noch höhere Temperatur für Glasgefäße, so daß man übereinkam, den Siedpunkt stets in einem eisernen Gefäße und in dessen Wasserinhalte zu bestimmen. Cavendish hatte gefunden, daß die Temperatur des aufsteigenden Dampfes genau die des Wassers an seiner Oberfläche wäre, deshalb bestimmte er auch, zumal Biot mit dieser seiner Untersuchung übereinstimmte, den Siedepunkt durch Einsenken der in eine Glasröhre eingeschlossenen Quecksilbersäule in ein Gefäß mit schwachem senkrechtem Halse, so daß sie — gleichgültig ob die Kugel das Wasser oder den Dampf berührte — sich bis zu einem bestimmten

Punkte, der dann als Fundamentalpunkt bezeichnet wurde, ausdehnte. Schon Rudberg erkannte das Unrichtige der Beobachtungen, die wahrscheinlich nur von wenigen Physikern ebenfalls angestellt, von den meisten ohne weiteres als wahr angenommen wurden, und zeigte, daß eine Temperaturdifferenz vorhanden wäre. Rudberg kam zu dem Resultate, daß — obwohl das Sieden des Wassers selbst in einem Glasgefäße bei einer etwa 1,8° höhern Temperatur erfolge, als in einem Metallgefäße — doch der Wasserdampf in beiden Fällen, bei gleichem Barometerstande eine gleiche Temperatur besitzt, so daß die Temperatur des Wasserdampfes gar nicht von der Beschaffenheit des Gefäßes abhängt, sondern stets einer dem Barometerstande, gleichen Spannkraft entspricht. — Ausgedehnte Untersuchungen im Allgemeinen über diesen Gegenstand finden wir noch bei Péclet (14) und Regnault (15). F. Marcet (13) in Genf hat nun in der neuesten Zeit jene Untersuchungen nochmals aufgenommen und eine Revision der als richtig angenommenen Thatsachen mit Thermometern von Noblet in Genf, die mit der Loupe drei und vier Hunderttheile eines Grades schätzen ließen, veranstaltet. — Wir sehen die Angaben Gay-Lussac's und Rudberg's insofern nicht bestätigt, als Marcet nachweiset, daß nicht die Temperatur des siedenden Wassers in einem Glasballon, in welchem sich Metallfeilicht befindet, der des Wassers in einem Metallgefäße gleichkommt, also 100° beträgt, sondern daß sie genau 100,4° ist. Nur wenn man ganz feine Eisenfeile nimmt, nähert sich die Temperatur beider bis auf einige Hunderttheile der Grade. Die Thatsache, die Rudberg eigentlich mehr geahnt, als durch Experimente nachgewiesen — daß nämlich die Temperatur des siedenden Wassers und des daraus entspringenden Dampfes nicht dieselbe, — folgerte Marcet aus den Gesetzen der Molecular-Physik, indem sich einsehen läßt, daß die Molecular-Adhäsion der Flüssigkeit zu den Wänden eines Metallgefäßes zwar geringer als zu den eines Metallgefäßes, aber nicht vollständig

gleich Null zu erachten ist. Er muß also diese Adhäsion selbst bei einem Metallgefäße bis zu einem gewissen Grade zur Verzögerung des Siedens der Flüssigkeit beitragen und deren Temperatur etwas höher als die ihres Dampfes machen. — Marcet hat nun aber nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch die Wahrheit dieses Gesetzes nachgewiesen. — Er fand nämlich, daß das Wasser in Gefäßen von verschiedenen Metallen nicht bei vollkommen gleicher Temperatur siedet, daß aber die größte Differenz nämlich zwischen einem weiß-blechenen und einem kupfernen Gefäße nicht über 0,1° betrug. Aus einer Versuchsreihe ergab sich die Temperatur des Dampfes im Mittel 99,84°, die des Wassers dagegen 100°, so daß der Unterschied 0,16° betrug. Noch deutlicher tritt diese Differenz zwischen dem in einem Glaskolben siedenden Wasser und dessen Dampf auf; denn es ergab die Untersuchung für das siedende Wasser die Temperatur 100,95°, für den Dampf dagegen 99,89°, also eine Differenz von 1,06. Auch in anscheinend aus gleichem Materiale construirten Glaskolben tritt eine Temperaturdifferenz beim Sieden auf. — Da nun der Dampf immer eine niedere Temperatur als das siedende Wasser besitzt, wie es sich auch aus folgenden Resultaten ergiebt:

Temperatur	im Glaskolben mit Eisenhammerschlag siedendes Wasser . .	100,261°
	des zugehörigen Dampfes . .	99,889°
Temperatur des Dampfes	im Metallgefäß	99,840°
	im Glasgefäß ohne Eisenhammerschlag	99,891°
	im Glasgefäß mit Eisenhammerschlag	99,889°

so ist es dem Practiker anzurathen, wie wir es aus eigener Erfahrung bestätigen können, folgendes Verfahren einzuschlagen.

1) In einem Metallgefäß die Thermometerkugel an die Grenze des siedenden Wassers (und des Dampfes) so genau als möglich zu bringen, weil dadurch der Fehler auf ein Minimum reducirt wird.

2) Dasselbe Verfahren ist im allgemeinen auch einzuschlagen, wenn in einem Glaskolben Eisenhammerschlag ist, nur thut man gut, den untersten Theil der Glaskugel vom Wasser, den andern und den Röhrentheil von Dampf ausfließen zu lassen.

3) Nimmt man statt des Eisenhammerschlages sehr feinen durch ein Sieb gejagten Eisenfeilicht, so zeigt sich dasselbe Verhalten wie beim Metalle, also wie bei Nr. 1.

4) Bringt man eine dünne Schicht von Schwefelblumen auf den Boden des Gefäßes, es sei von Metall oder Glas, so kann man die Temperatur des Wassers als identisch mit der des Dampfes betrachten, und thut gut die Thermometerkugel ebenfalls unten an die Oberfläche zu bringen. —

Bei der practischen Bestimmung des Siedepunktes kann man sich noch immer mit Vortheil des Apparates von Rudberg bedienen, der dem von Biot vorzuziehen ist. Taf. I Fig. 6 zeigt die Einrichtung des Apparates aus Eisenblech. Der äußere Cylinder **MN** ist oben mit Kork bedeckt, und in diesem ein innerer Cylinder befestigt, der seinerseits wieder mit einem Korke verschlossen ist, durch den die Thermometerröhre geht. Der äußere Cylinder hat einen Durchmesser von circa 1,25 Zoll und der innere von 0,66 Zoll. Beide Cylinder sind aus mehreren kurzen Blechröhren zusammengesetzt, damit sie, je nach der Länge des Thermometers verlängert oder verkürzt werden können; doch müssen sie, sobald sie die bestimmte Länge erhalten, verzinnt werden, damit der Dampf nicht durch die Fugen dringe und somit eine Abkühlung herbeiführe. — Taf. I Fig. 7 stellt einen Glasapparat vor. In einem Glaskolben ist

der innere Cylinder mittels zwei durch ihn hindurchgehender Schrauben an der Messinghülse cd befestigt und in letzterer ist der Kork eingesetzt, welcher die Thermometerröhre trägt. Die obere Fassung AB, woran cd gelöthet, kann bei vv abgeschoben werden. Dieser Apparat eignet sich besonders zur Bestimmung, da er durchsichtig und somit Röhre und Kugel in ihrer Stellung zur Wasserhöhe beobachten läßt.

Auf der Glasröhre wird nun nach dem Rudbergschen Verfahren der Siedepunkt so wie der Frostpunkt fixirt. — Vorläufig wird nur ungefähr die Lage des Siedepunkts durch einen feinen Diamantstrich bezeichnet, dann nochmals das Thermometer in den Siedapparat gesetzt und die beim Frostpunkt bereits näher bezeichnete Skale festgeschraubt. Die Anzahl der auf dieser vorhandenen kleinen Abtheilungen zwischen dem Siedepunkt und dem Diamantstrich zeigt dann genau, wie weit der Siedepunkt, bei dem jedesmaligen beobachteten Barometerstande, über oder unter dem Diamantstriche liegt. — Nachdem nun auf diese Weise der Siedepunkt beim Barometerstande h gefunden, und hieraus der Abstand desselben vom Frostpunkt für den Barometerstand 0,76 m berechnet worden, ist nun noch jener Abstand in eine bestimmte Anzahl von Theilen, etwa 80 oder 100 u. s. w. unter der Voraussetzung zu theilen, daß der innere Durchmesser der Röhre überall gleich ist. Da aber der innere Cylindermantel der Röhre nicht überall gleiche Dimensionen, sondern bald geringere Einschnürungen oder Erweiterungen vorkommen, so müssen genaue Untersuchungen angestellt werden in wiefern die Volumentheile von einander abweichen und wie diesen Abweichungen entgegenzutreten ist, wie sie zu beseitigen sind. Dieses Verfahren führt uns zu den folgenden Betrachtungen, die in der Calibrirungsmethode enthalten sind.

§. 6.

Die Calibrirung.

1) Gay-Lussac: Untersuchungen über die Dicke von Thermometerröhren. Traité de physique, par Biot. I. p. 46.
2) Hennert: Untersuchungen mittelst eines Quecksilberfadens die Dicke der Röhre zu untersuchen. Traité des Thermomètres 1758, p. 184.
3) Lambert: Untersuchungen darüber. Pyrometrie, 1779 p. 31 et 43.
4) Hällström: Anmärkningar angående termometerns förfardigande och bruk. Acad Dissert. Abo 25. Juni 1823 und Pogg. Ann. 1827 Stück 4.

Der erste, — welcher ähnlich, wie später Gay-Lussac (1) eine möglichst kurze Quecksilbersäule in der Röhre entlang und zwar so zu verschieben suchte, daß das hintere Ende derselben nach der Verschiebung immer an die Stelle komme, wo früher das vordere stand, — war Hennert (2), der freilich nirgend erwähnt, doch im Verhältniß nicht geringe Verdienste hat. Ihnen schloß sich später Lambert (3) an. Doch leiden diese Methoden sämmtlich an einem Fehler. Man setzte nämlich die Möglichkeit voraus, daß man eine kleine Säule von z. B. 5° oder 10° genau verschieben könne, selbst wenn die Röhre fein wäre — und eine solche kann nur angewendet werden — und dieses ist eine Unmöglichkeit. Sie besitzen außerdem den bedeutenden Mangel, daß man den Gradwerth der gebrauchten kleinen Quecksilbersäule nur bestimmen kann 1) durch das Vielfache derselben, welche dem ganzen Volume zwischen 0° und 100° am nächsten kommt, und 2) durch die Quantität, um welche dieses Vielfache größer oder kleiner als das genannte Volum ist. Bei jeder Verschiebung wird nämlich ein Fehler dadurch begangen, daß die Säule nicht genau eingestellt werden kann, und dieser Fehler summirt sich durch die Verschiebungen, so daß die vereinfachte Säule ein merkbar größeres oder kleineres Volumen

zeigt, als das Zwölffache ihres Volumens wirklich beträgt. Außerdem entsteht, selbst wenn die Säule jedesmal genau eingestellt werden könnte, dennoch ein Fehler, sobald die Säule nicht so kurz ist, daß auf ihre Länge die Röhre als vollkommen cylindrisch angesehen werden kann, was doch selten der Fall ist, weil die Säule lange zuvor verschiebbar zu sein aufhört. —

Eine vollständige Calibrirungsmethode hat Rudberg angegeben, die wir hier näher beschreiben wollen. Die andere von Hällström(11), Bessel und Egen gegebenen Methoden sind als Correctionsmethoden zu betrachten, da man durch sie bei einem bereits fertigen Thermometer die Fehler jedes einzelnen Grades bestimmen kann, deshalb wird die von Bessel später ausführlich, die von Egen dagegen, da sie fast mit der von Bessel identisch, nicht weiter besprochen werden. — Da jedoch Hällström's Methode ihrer Kürze wegen interessant ist und sich im Allgemeinen mehr der Rudberg'schen anschließt, so soll auch sie dieser hier vorangeschickt werden. —

Hällström's Methode besteht in Folgendem. Angenommen, es sei a eine genau n Mal in 100 enthaltene Zahl von Graden der Scale, es werde eine Säule, welche beinahe a einnimmt und deren wahrer Gradwerth = x ist, abgetrennt, es seien e' e'' u. s. w. die Unterschiede zwischen a und x, die auf der Scale abgelesen werden, wenn die Säule mit einem Ende auf den Anfang einer jeden gleich großen Zahl a von Graden eingestellt wird, und endlich seien a', a'' u. s. w. die Gradwerthe der auf einander folgenden gleich langen Grad-Anzahl a auf der Scale, so ist offenbar:

$$x = a' + e'$$
$$x = a'' + e''$$
$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$
$$x = a^{(n)} + e^{(n)},$$

und daraus:

$$x = \frac{100}{n} + \frac{1}{n}\left\{e' + e'' + \ldots + e^{(n)}\right\}$$

Nachdem x solchergestalt gefunden ist, werden a', a'' ... leicht erhalten.

Gewiß erhält man hierdurch die Gradwerthe der einander folgenden gleich großen Längen a mit einiger Sicherheit, sobald die Röhre nicht besonders ungleich ist, und e', e'' ... kleine Größen sind. Wenn dies aber nicht der Fall ist, kann die Methode zu fehlerhaften Resultaten führen, weil e, e'' ... in der That nicht den Gradwerth besitzen, sobald die Röhre bedeutender ungleich ist, als es nach Ablesung an der in gleich lange Theile getheilten Scale der Fall zu sein scheint. So z. B. kann $\frac{1}{2}$ Längengrad bei 20° wirklich = 0,5° oder $\frac{1}{200}$ vom ganzen Volumen zwischen 0° und 100° sein, bei 60° vielleicht aber nur 0,46° oder $\frac{1}{218}$. Dies bedeutet zwar wenig bei der Bestimmung des Gradwerthes einer jeden einzelnen Gradlänge a, obwohl es hierbei auch von Einfluß ist, wie man aus dem Ausdruck für den Werth von x ersieht; allein es bedeutet viel bei Bestimmung des Gradwerthes von mehren solcher addirten Gradlängen. Man hat z. B. für den Gradwerth der drei ersten a oder:

$$a' + a'' + a''' = 3x - (e' + e'' + e''')$$
$$= \frac{300}{n} - \frac{n-3}{n}(e' + e'' + e''')$$
$$+ \frac{3}{n}(e^{IV} + e^{V} + \ldots + e^{(n)}),$$

und daraus erhellt, daß der Fehler desto bedeutender wird, je mehr eine größere Anzahl von e', e'' ... im wirklichen Gradwerth abweicht von dem an der Scale abgelesenen. Man könnte zwar glauben, der Fehler würde vermindert, wenn man die Länge der Säule so abpaßte, daß e', e'' ... insgesammt sehr klein blieben, allein dies ist nur möglich, wenn die Röhre sehr nahe cylindrisch ist, denn im entgegengesetzten Fall werden die Werthe von e', e'' ... immer bedeutend ungleich unter einander.

Nachdem hierdurch die Gradwerthe a', a'' . . . der auf einander folgenden gleich großen Scalenlängen a gefunden sind, erhält man den Gradwerth einer geringeren Gradanzahl b auf der Scale dadurch, daß man eine Säule abtrennt, welche um b Längengrade kürzer ist als a. Offenbar können, nach demselben Princip, alle Scalenlängen = b hinsichtlich ihres Gradwerthes bestimmt werden, sofern man es nur so einrichtet, daß b ein Submultiplum von 100 ist. So z. B. wurde bei der Calibrirung eines Thermometers, welche Hällström in seiner oben genannten Arbeit anführt, erstlich eine Säule von ungefähr 20° abgetrennt, und dann eine von etwa 15°, wodurch dann der Gradwerth von jedem fünften Grade erhalten wurde.

Es ist nicht zu läugnen, daß diese Methode, außer dem Vorzuge, daß dabei ein schon fertiges Thermometer angewandt werden kann, auch den besitzt, daß die Anwendung derselben nicht viel Zeit erfordert, da man nur zwei Säulen abzutrennen braucht. Aus diesem Grunde ist sie auch anzurathen, wenn die Röhre einigermaßen gleichförmig ist und keine große Genauigkeit erfordert wird. Soll dagegen das Thermometer mit aller möglichen Genauigkeit verfertigt werden, so muß man diese Methode, aus dem eben angeführten Grunde, für unbrauchbar halten, zumal man, um ein, zu feineren Wärmebestimmungen zuverlässiges Thermometer zu erhalten, nothwendig suchen muß, jedes der Elemente (Lage des Frost- und Siedepunktes, sowie Ungleichheit des Calibers) mit einer größeren Genauigkeit zu bestimmen, als man mit dem Instrument bei seinem Gebrauch erreichen will. Verlangt man z. B., die Angaben des Thermometers sollen bis auf $\frac{1}{50}$ Grad sicher sein, so ist es nicht genug, jedes der drei Elemente bis auf $\frac{1}{150}$ sicher zu haben, sondern man muß den möglichen Fehler bei ihnen noch weiter und wo möglich bis über $\frac{1}{100}$ Grad reduciren, damit diese Fehler, im Fall sie sich addiren, in den Angaben des Thermometers keine Unsicherheit von $\frac{1}{50}$ Grad verursachen.

Die Methode, welche H. schon 1829 auffand und anfangs 1830 zur Calibrirung seiner beiden Normalthermometer anwandte, beruht auf einem ganz andern Princip, als dem der beiden zuvor genannten Methoden; es kann immer, selbst bei den feinsten Röhren angewandt werden, so lange sich in diesen noch eine Säule, welche $\frac{1}{3}$ am ganzen Volum zwischen 0 und 100 ausmacht, verschieben läßt. Durch diese Methode kann das Volum getheilt werden, entweder in:

2, 3, 6, 12, 24, 48 u. s. w.

oder in:

2, 4, 8, 16, 32, 64 u. s. w,

gleich große Theile, ohne daß hierzu nothwendig die Möglichkeit vorausgesetzt wird, andere Säulen zu verschieben, als entweder:

$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{5}{12}$, $\frac{11}{24}$, $\frac{23}{48}$ u. s. w.

oder:

$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{7}{16}$, $\frac{15}{32}$, $\frac{31}{64}$ u. s. w.

von welchen, wenn man die erstere Reihe wählt, keine Säule kleiner zu sein braucht als $\frac{1}{3}$, und, wenn man die letztere wählt, keine kleiner als $\frac{1}{4}$.

Außer der größern Sicherheit, welche diese Methode gegen die frühern besitzt, hat sie den Vortheil der Anwendbarkeit bei sehr feinen Röhren, welche alleinig für Thermometer, die zu genauen Temperaturbestimmungen dienen sollen, brauchbar sind; denn bei ihnen kann man die Thermometerkugel klein nehmen, was nothwendig ist, damit das Thermometer die Empfindlichkeit bekomme, die in allen Fällen, wo die Temperatur sich in kurzer Zeit bedeutend verändert, erfordert wird, wenn die Beobachtungen sicher werden sollen.

Wir wollen nun im Allgemeinen zeigen, wie man diese Methode anzuwenden hat, und wollen dazu die erste Reihe wählen. Das Verfahren, im Fall man die letztere nimmt, wird ganz analog.

1) Eine Säule abgetrennt, welche nahe $= \frac{1}{2}$.

Hierdurch bestimmt man leicht $\frac{1}{2}$ oder 50°. Man denke sich die Röhre neben einer fein getheilten Scale

befestigt, und den Nullpunkt des Thermometers mit dem Nullpunkt der Scale zusammenfallend. Stellt man nun die Säule mit dem einen Ende auf 0°, so zeigt das andere eine Anzahl Längentheile $= n'$, und wenn hierauf das letztere auf 100 gestellt wird, so steht das erstere auf eine Anzahl $= n''$. Ist $n'' > n'$, so ist die Säule offenbar kürzer als $\frac{1}{2}$, und so umgekehrt. Jedenfalls, wenn $n'' - n' = \lambda$ eine kleine Länge und x die wahre Gradzahl ist, wird:

$$x = 50^0 \pm \tfrac{1}{2}\,\lambda,$$

oder, was dasselbe ist, 50° liegt bei $\frac{n'' + n'}{2}$. Offenbar ist diese Methode nicht mathematisch richtig, sobald die Röhre ungleiches Caliber hat; allein sie nähert sich dieser Richtigkeit in dem Maße, wie n' sich der Gleichheit mit n'' nähert. Weiterhin werden wir ein Verfahren angeben, wodurch man $n'' - n'$ so klein machen kann, daß der übrigbleibende Fehler von keiner Bedeutung ist.

2) Eine Säule abgetrennt, welche sehr nahe $= \frac{1}{3}$.

Mittels dieser allein kann das Volum zwischen 0 und 100 in sechs gleich große Theile getheilt werden. Die Gradwerthe derselben erhält man auf folgende Weise: die Säule wird mit einem Ende auf 0 gestellt, wodurch dann das andere eine Längenzahl $= n'$ zeigt. Hierauf wird das erstere Ende genau auf n' gestellt; das zweite wird dann auf der Zahl n'' der Scale stehen. Diese Operationen wollen wir der Kürze halber künftig die Verdoppelung der auf Null eingestellten Säule nennen. Sodann wird das vordere Ende der Säule auf 100° gestellt, wodurch das hintere auf n''' zu stehen kommt. Wäre nun $n''' = n''$, so würde der Gradwerth der Säule offenbar genau $= \frac{1}{3}$ des ganzen Volums sein. Ist dieß nicht der Fall, sondern, wie fast immer, $n''' - n'' = \lambda$, so ist, wenn λ sehr klein:

$$2\,x \pm \lambda = 100^0 - x$$

oder:

$$x = 33^0\,\tfrac{1}{3} \mp \tfrac{1}{3}\,\lambda,$$

folglich:

$$\tfrac{1}{3} \text{ oder } 33^{\circ}\,\tfrac{1}{3} \text{ bei: } n' \pm \tfrac{1}{3}\,\lambda$$

und:

$$\tfrac{2}{3} \text{ oder } 66^{\circ}\,\tfrac{2}{3} \text{ bei: } n''' \mp \tfrac{1}{3}\,\lambda.$$

Außer dieser Bestimmung kann noch eine, als Controle, erhalten werden, dadurch, daß man die Säule, nach Einstellung auf 100, verdoppelt und sodann auf 0 einstellt.

Mit dieser Säule können ferner die noch übrigen Sechstel oder $\tfrac{1}{6}$ und $\tfrac{5}{6}$ leicht bestimmt werden, wenn man die Säule auf 50° einstellt, erstlich gegen 0° und dann gegen 100° hingewandt. Denn wenn sie im ersten Fall auf n^{IV} zeigt und im letzten auf n^{V}, so wird:

$$\tfrac{1}{6} \text{ oder } 16^{\circ}\,\tfrac{2}{3} \text{ bei: } n^{IV} \mp \tfrac{1}{3}\,\lambda$$

und:

$$\tfrac{5}{6} \text{ oder } 83^{\circ}\,\tfrac{1}{3} \text{ bei: } n^{V} \pm \tfrac{1}{3}\,\lambda.$$

3) Eine Säule abgetrennt, welche nahe $= \tfrac{5}{12}$.

Verdoppelt man diese, nach Einstellung auf Null, so findet man an der Scale, wie viele Theile in den vorher bestimmten $\tfrac{5}{6}$ enthalten oder überschüssig sind. Ist z. B. die Anzahl dieser $= \lambda$, so ist:

$$2\,x \pm \lambda = 83^{\circ}\,\tfrac{1}{3}$$

oder:

$$x = 41^{\circ}\,\tfrac{2}{3} \mp \tfrac{1}{2}\,\lambda.$$

Der Werth von x kann auch bestimmt werden, wenn die Verdoppelung von 100° aus geschieht. Hieraus erhält man nach Einstellung auf 0° .. $\tfrac{5}{12}$

— $\tfrac{1}{6}$ .. $\tfrac{7}{12}$

— $\tfrac{1}{3}$ .. $\tfrac{9}{12}$

— $\tfrac{1}{2}$ .. $\tfrac{11}{12}$ od. $\tfrac{1}{12}$,

so daß alle Zwölftel des Volums hierdurch bekannt sind.

4) Eine Säule abgetrennt, welche möglichst genau entweder gleich $\tfrac{11}{24}$, $\tfrac{9}{24}$ oder $\tfrac{7}{24}$.

Es ist gleichgültig, welche von diesen Längen man wählt, denn sie alle drei können zur Auffindung der übrigen ungeraden Vierundzwanzigstel gebraucht werden. Um die Gradwerthe der Säule zu bestimmen, braucht man sie, nach Einstellung auf 0, nur zu verdoppeln;

dann findet man, wie viel deren doppeltes Volum von dem bekannten $\frac{11}{12}$, $\frac{9}{12}$ oder $\frac{7}{12}$ abweicht. Die Wahl hierbei beruht hauptsächlich auf der größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher man eine kleine Säule verschieben kann, obwohl die Anzahl der Wege, auf welchen man den Gradwerth finden kann, ungleich ist für diese drei Säulen. Aus diesem Grunde, wenn es sonst die Verschiebbarkeit erlaubt, kann $\frac{7}{12}$ den Vorzug verdienen. Dieser Bruch kann natürlich auf 6 Weisen bestimmt werden, durch Verdopplung von 0, $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$, $\frac{3}{12}$, $\frac{4}{12}$ und $\frac{5}{12}$ aus. Dagegen kann $\frac{9}{12}$ nur auf 4 Weisen erhalten werden, nämlich von 0, $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$ und $\frac{3}{12}$ aus; endlich ist $\frac{11}{24}$ nur auf zweierlei Art zu erlangen, von 0 und von 100 aus.

Auf welche Weise man indeß auch das ganze Volum in 24 gleich große Theile theilen möge, so ist doch jeder immer $= 4^0\frac{1}{6}$.

Sollte man hierbei bemerken, daß zwei nahe liegende $\frac{1}{24}$ des Volums bedeutend in Länge verschieden wären, so ist es nothwendig, eine Säule von einer der folgenden Längen: $\frac{23}{48}$, $\frac{21}{48}$, $\frac{19}{48}$ ... $\frac{11}{48}$ oder $\frac{9}{48}$ abzutrennen, und mit dieser auf analoge Weise zu verfahren. Indeß wird dies, wenn man zuvor die Röhre zum Thermometer einigermaßen auswählt, selten oder niemals nöthig sein.

Diese Reihe von Säulenlängen ist die zweckmäßigste für die feinste Röhre, bei welcher indeß der Fall eintreten kann, daß sich ein Viertel des Volums nicht ohne sehr große Schwierigkeit verschieben läßt.

Kann dagegen ein solches Viertel ohne Umstände bewegt werden, d. h. kann es durch bloßes Neigen der Röhre verschoben werden, ohne daß man dieser kleine Stöße mitzutheilen braucht, weil, wenn dieses erforderlich, eine feinere Einstellung unmöglich ist, so hat man Grund, der letzteren Reihe den Vorzug zu geben, weil man durch sie das ganze Volum in 32 gleich große Theile theilen kann, von denen also jeder $= 3^0\frac{1}{8}$ ist.

Es ist hierbei wohl überflüssig zu erwähnen, daß man zur fernern Controle mehre Säulen von ungefähr derselben Länge abzutrennen habe, um mehre Bestimmungen über die Lage der gesuchten Punkte zu erhalten, und daß man dann das Mittel aus diesen nehmen müsse. Die Unterschiede zwischen diesen einzelnen Bestimmungen können nur davon herrühren, daß ein und derselbe kleine Längenunterschied λ an verschiedenen Stellen der Röhre einen ungleichen Gradwerth besitzt, und daß bei dieser Methode vielleicht zwei oder mehre der hieraus entspringenden Fehler addirt werden; sie lassen sich daher immer beliebig verkleinern, weil man die Säule, wenn sie sich beim ersten Versuch zu lang oder zu kurz erweisen sollte, durch die von H. angewandte Abtrennungsweise mit Sicherheit, um ein solches Stück verkürzen oder verlängern kann, daß sie, nach der Verdoppelung, äußerst wenig von der erforderlichen Länge abweicht. Einleuchtend ist übrigens, daß bei den Einstellungen die größte Sorgfalt angewandt werden muß, damit dabei kein Fehler von Bedeutung begangen werde.

Wir wollen nun zu den Einzelheiten anderer Calibirungsmethoden übergehen.

Hierzu hat man sich des in Fig. 1 Taf. II. abgebildeten Instruments zu bedienen. A B ist ein etwa 18 Decimalzoll langes Lineal von Messing; auf diesem sind zwei Messingleisten A G und E F festgeschraubt, zwischen welchen der Schieber m n hin- und herbewegt und mit demselben das darauf befestigte Mikroskop M auf jede beliebige Stelle der Scale gebracht werden kann. Mitten auf der Leiste E F ist ein Streifen feinen Silbers eingelegt, und so fein graduirt, daß jeder Decimalzoll 198 Theile oder eine gleiche Anzahl, wie die zuvor beschriebene und beim Frostpunkt gebrauchte Silberschiene enthält. Die ganze Theilung enthält 3030 solcher Theile. Das Thermometer wird mittels der Bügel p q und z s festgeschraubt, mitten auf der Theilung, die durch die Glasröhre hin zugleich mit dem Ende der Quecksilber-

säule mit dem Mikroscop gesehen werden kann. Das Mikroscop ist das zuvor beschriebene.

Zur Abtrennung der Säule bedient sich H. des gewöhnlichen Verfahrens, er erhitzt nämlich die Stelle der Röhre, wo die Abtrennung geschehen soll, so stark in der Flamme eines Lichts oder einer Weingeistlampe, daß ein kleiner Antheil Quecksilber in Gas verwandelt wird. Findet man bei Prüfung, daß die so erhaltene Säule, wie es meistens der Fall ist, nicht die erforderliche Länge besitzt, so schraubt man desungeachtet die Thermometerröhre auf dem Calibrirungs-Instrument fest, und, nachdem man sich gemerkt, wie viele Theile oder Striche auf der Scale sie länger oder kürzer gemacht werden muß, führt man sie mit der größten Vorsicht gegen das Ende der übrigen Quecksilbersäule, wobei es mit höchst seltenen Ausnahmen geschieht, daß sie nicht vollkommen mit dieser zusammenfließt, sondern einen Zwischenraum an der Berührungsfläche zurückläßt. Dieser Zwischenraum bleibt unverändert an derselben Stelle der Röhre, wovon man sich mittels des Mikroscops leicht überzeugen kann. Man sieht nun nach, über welchem Strich der Scale das obere Ende der Säule steht, und verschiebt das Mikroscop um so viele Striche, als die Säule verlängert oder verkürzt werden soll. Soll sie nun verkürzt werden, so braucht man nur die Kugel mit etwas in Weingeist getränkter Baumwolle zu befeuchten; bei der erfolgenden Abkühlung geht dann das Quecksilber unter dem oben genannten Zwischenraum hinweg, ohne daß dieser mit folgt, sobald nur das Instrument ganz ruhig liegt. Im Augenblick, da das obere Ende der Säule sich in dem Mikroscop mitten über dem eingestellten Strich zeigt, giebt man dem Instrument eine rasche, aber kleine Neigung, so daß die Kugel in die Höhe kommt; dadurch trennt sich die Säule wieder ab und besitzt sehr nahe die gewünschte Länge. Auf eine ganz analoge Weise wird verfahren, wenn die abgetrennte Säule verlängert werden soll, nur mit dem Unterschied, daß man die Kugel langsam erwärmt, entweder zwischen

den Fingern oder mit einem andern warmen Körper. Nach einiger Uebung kann man es hierin so weit bringen, daß man die Säule mit ziemlicher Sicherheit bis auf 2 oder 3 Striche von der erforderlichen Länge erhält.

Mit der so erhaltenen Säule werden nun die Beobachtungen angestellt. Wenn es sich um eine große Genauigkeit handelt, muß man hierbei immer darauf sehen, daß die Säule nicht durch die Wärme des Körpers irgend bedeutend erwärmt wird, denn dies kann leicht eine Verlängerung von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Strich verursachen. Wenn nämlich die Länge der Säule bei der Temperatur t ist = l und bei T ist = x, so hat man:

$$x = l\left(1 + \frac{T - t}{5550}\right)$$

Angenommen es sei l = 500 Strich, so wird

$$x = 5000 + \frac{T - t}{11},$$

und wenn T — t = 5°, erhält man x = 500,46 Strich. Diesen Einfluß kann man auf mehrfache Weise durch Vorsicht verhüten, aber man darf ihn nicht vernachläßigen, besonders wenn die Säule eine etwas bedeutende Länge besitzt.

Als Beispiel dieser Calibrirmethode werden wir hier die Beobachtungen an einem Normalthermometer aus dem Jahre 1830 anführen. Der Abstand zwischen 0° und 100° betrug bei ihm 1279,86 oder 1280 Striche auf der Calibrirscale, und auf dem Nullpunkt dieser Scale war immer der Nullpunkt des Thermometers eingestellt.

A. Bestimmung vom halben Volum oder 50°.

1) Ein Säule eingestellt
auf 0ˢ zeigte: 641,5ˢ
„ 1280ˢ „ 641,0
Unterschied = 0,5ˢ, also 50° bei 641,25ˢ.

2) Eine zweite Säule eingestellt
auf 0• zeigte: 636,5•
„ 1280• „ 646,25
Unterschied = 9,75•, also 50° bei 641,37•.
3) Eine dritte Säule eingestellt
auf 0• zeigte: 649,0•
„ 1280• „ 633,5
Unterschied = 15,5• also 50° bei 641,25•
Mittel 641,29•.

B. Bestimmung von Sechsteln des Volums.

1) Eine Säule eingestellt
auf 0• zeigte: 426,5•
„ 426,5 „ 855,66
„ 1280,0 „ 855,50
Unterschied = 0,16.
Da also die Säule
nur 0,05• zu lang
war, erhält man
hieraus . . . 33° $\frac{1}{3}$ b. 426,45 u. 66° $\frac{2}{3}$ b. 855,55.
2) Eine andere Säule eingestellt
auf 0• zeigte: 431,25•
„ 431,25 „ 865,00
„ 1280,0 „ 850,75
Unterschied = 14,25•
Da die Säule 4,75•
zu lang war, ist
also . . . . . 33° $\frac{1}{3}$ b. 426,50 u. 66° $\frac{2}{3}$ b. 855,50.
3) Eine Säule eingestellt
auf 0• zeigte: 421,33•
„ 421,33 „ 845,50
„ 1280,0 „ 860,50
Unterschied = 15,00•
also, da die Säule
um 5,0• zu kurz war 33° $\frac{1}{3}$ b. 426,33• u. 66° $\frac{2}{3}$ b. 855,50.

4) Eine Säule eingestellt
auf 0^s zeigte 428,5^s
„ 428,5 „ 859.5
„ 1280,0 „ 853,5
Unterschied = 6,0^s,
mithin, da die Säule 2,0
zu lang war . . . 33$\frac{1}{3}$° b. 426,50^s u. 66$\frac{2}{3}$° b. 855,50^s
Mittel 33$\frac{1}{3}$° b. 426,45^s u. 66$\frac{2}{3}$° b. 855,51^s.

Durch die zweite der obigen Säulen wurden auch $\frac{1}{6}$ und $\frac{5}{6}$ des Volums erhalten, als die Einstellung auf 50° geschah.

Die Säule (1), eingestellt auf 50^s, zeigte
auf einer Seite 1069,25^s
auf der andern Seite . . . 213,75^s
woraus, da die kleine Größe. 0,05^s,
um welche die Säule zu lang war, außer Acht
gelassen werden kann, 16$\frac{2}{3}$° b. 213,75^s u. 83$\frac{1}{2}$° b. 1069,25^s.

Die Säule (2), eingestellt auf 50^s, zeigte
auf der einen Seite . . . 1071,25^s
auf der andern Säule . . 211,75^s
woraus, da die Säule . . 1,0^s zu
lang war 16$\frac{2}{3}$° b. 213,75^s u. 83$\frac{1}{3}$° b. 1069,25^s.
Mittel 16$\frac{2}{3}$° b. 213,75^s u. 83$\frac{1}{3}$° b. 1069,25^s.

C. Bestimmung des Zwölftels des Volums.

Hierzu wurden zwei Säulen abgetrennt, welche sehr nahe $\frac{5}{12}$ des ganzen Volums einnahmen.

1) Eine Säule eingestellt
auf 0° zeigte: 526,66°
„ 526,66 „ 1055,50°
allein nach der Vorstehenden, war $\frac{5}{6}$ od.
$\frac{10}{12}$ bei . . . . 1069,25°
Unterschied = 13,75°
woraus, da die Säule 6,87° zu
kurz war . . . . $\frac{5}{12}$ oder $41\frac{2}{3}$" bei 533,53°.
2) Eine andere Säule eingestellt
auf 0° zeigte: 533,50°
„ 533,5 „ 1069,25
aber $\frac{10}{12}$ bei 1069,25
Unterschied = 0,00°
also 533,50°.

Da die letztere Säule genau die erforderliche Länge besaß, so wurde sie auch gebraucht, um die Lage der übrigen oder ungeraden Zwölftel zu bestimmen. Die Resultate hievon enthält die folgende Tafel zugleich mit allen andern Zwölfteln:

Zwölftel.	Striche der Skale.	Längenunterschied.	Zwölftel.	Striche der Skala.	Längenunterschied.
0	0	0	7	748,50	107,25
1	107,25	107,25	8	855,50	107,00
2	213,75	106,50	9	962,25	106,75
3	320,50	106,75	10	1069,25	107,00
4	426,50	106,00	11	1174,75	105,50
5	533,50	107,00	12	1280,00	105,25
6	641,25	107,75			

Obgleich diese Bestimmungen zuverlässig sein mußten, so hielt H. es doch nicht für unpassend, sie weiter

zu controliren. Dieß geschah mit einer Säule, welche sehr nahe $\frac{3}{12}$ oder 25° einnahm, und noch, wiewohl nicht ohne Schwierigkeit, verschoben werden konnte. Zur Bestimmung ihres wahren Gradwerthes gebrauchte H. die Mitte oder 50°, als sicher bekannt.

Eingestellt auf 0° zeigte sie 320,0°
„ „ 320 „ „ 640,66
woraus $2x = +0{,}59°$.

Eingestellt auf 1280 zeigte sie 962,9°
„ „ 962,9 „ „ 642,0
woraus $2x = +0{,}75$

folglich war, im Mittel, die Säule um 0,33° zu kurz.

Hieraus erhält man direct sogleich $\frac{3}{12}$ bei 320,33°
und . . . . $\frac{9}{12}$ „ 962,57
ferner eingestellt
auf 865,5° zeigte sie 533,83°, also $\frac{5}{12}$ „ 533,50
„ 855,5 „ „ 1174,63 „ $\frac{11}{12}$ „ 1174,96
„ 426,5 „ „ 107,50 „ $\frac{1}{12}$ „ 107,17
„ 426,5 „ „ 748,25 „ $\frac{7}{12}$ „ 748,58
„ 748,5 „ „ 1069,00 „ $\frac{10}{12}$ „ 1069,33
„ 533,5 „ „ 214,00 „ $\frac{2}{12}$ „ 213,67.

Dies stimmt mit den in der obigen Tafel enthaltenen Werthen so nahe überein, als man nur wünschen kann, da der größte Unterschied nicht mehr als 0,32° oder ungefähr $\frac{1}{38}$ Grad beträgt.

D. Bestimmung der Vierundzwanzigstel des Volums.

Nach dem zuvor Gesagten kann man hiezu anwenden entweder $\frac{7}{24}$, $\frac{9}{24}$ oder $\frac{11}{24}$. Die von H. angewandte Säule war etwa $\frac{11}{24}$.

Eingestellt auf 0° zeigte sie 584,66°
„ „ 584,66 „ „ 1169,42
aber $\frac{11}{12}$ oder $\frac{22}{24}$ war 1174,86
Unterschied 5,44°
oder $x = +2{,}72°$

Eingestellt auf 1280,0°	zeigte sie	698,0°		
„ „ 698,0	„ „	113,0		
aber $\frac{1}{12}$ oder $\frac{2}{24}$ war		107,21		
	Unterschied	5,79°		
	oder		$x = + 2,89°$	

wonach also die Säule, im Mittel, 2,81° zu kurz ist.

Direct hat man also		$\frac{11}{24}$	bei	587,47°
und		$\frac{13}{24}$	„	695,19

Eingestellt

auf	1174,90°	zeigte	sie	590,33°,	also	$\frac{11}{24}$	„	587,52
„	107,25	„	„	692,25	„	$\frac{13}{24}$	„	695,06
„	213,75	„	„	799,00	„	$\frac{15}{24}$	„	801,81
„	320,40	„	„	906,40	„	$\frac{17}{24}$	„	909,21
„	126,50	„	„	1013,16	„	$\frac{19}{24}$	„	1015,97
„	533,50	„	„	1119,50	„	$\frac{21}{24}$	„	1122,31
„	641,25	„	„	1224,75	„	$\frac{23}{24}$	„	1227,56
„	1069,25	„	„	482,75	„	$\frac{9}{24}$	„	479,94
„	962,45	„	„	376,20	„	$\frac{7}{24}$	„	373,39
„	855,50	„	„	269,80	„	$\frac{5}{24}$	„	267,00
„	748,50	„	„	163,16	„	$\frac{3}{24}$	„	160,35
„	641,25	„	„	56,25	„	$\frac{1}{24}$	„	53,44

Stellt man nun alle Resultate zusammen, so erhält man folgende Tafel:

Nr.	Vierundzwanzigstel wirkliche Lage auf der Skala.	Länge eines jeden.	Lage auf der Skala, wäre d. Röhre genau cylindrisch gewesen.	Unterschied zwischen dieser und der wirklichen Lage.
0	0,00°			
1	53,44	53,44	53,33°	+ 0,11°
2	107,21	53,77	106,67	+ 0,54
3	160,35	53,14	160,00	+ 0,35
4	213,75	53,40	213,33	+ 0,42
5	267,00	53,25	266,67	+ 0,33
6	320,40	53,40	320,00	+ 0,40
7	373,40	53,00	373,33	+ 0,07
8	426,50	53,10	426,67	— 0,17
9	479,94	53,44	480,00	— 0,06
10	533,50	53,56	533,33	+ 0,17
11	587,49	53,99	586,67	+ 0,82
12	641,25	53,76	640,00	+ 1,25
13	695,12	53,87	693,33	+ 1,79
14	748,50	53,38	746,67	+ 1,83
15	801,81	53,31	800,00	+ 1,81
16	855,50	53,69	853,33	+ 2,17
17	909,21	53,71	906,67	+ 2,54
18	962,41	53,20	960,00	+ 2,41
19	1015,97	53,56	1013,33	+ 2,64
20	1069,25	53,28	1066,67	+ 2,58
21	1122,31	53,06	1120,00	+ 2,31
22	1174,86	52,55	1173,33	+ 2,53
23	1227,56	52,70	1226,67	+ 0,89
24	1280,00	52,40	1280,00	

Hieraus erhellt, daß die Röhre, von 0° ausgerechnet, in ihrer ersten Hälfte ziemlich gleichen Kalibers war, obwohl sich auch hier Abweichungen von der Cylindricität zum Belauf von 0,5° oder etwa $\frac{1}{24}$ Grad

zeigten. Die zweite Hälfte dagegen hatte bedeutendere Ungleichförmigkeiten, bis zu 2,64' oder $\frac{1}{8}$ Grad.

Bei diesem Thermometer hielt H. es nicht für nöthig, das Volum durch fernere Abtrennung einer Säule in 48 Theile zu theilen, da die beträchtlichste Abweichung nicht bedeutend war.

Es wurde daher durch Interpolation eine Tafel entworfen für die Lage eines jeden zwischen jenen Vierundzwanzigsteln liegenden Grades, und hienach endlich die Graduirung in Fünftelgrade bewerkstelligt, mittelst einer von Ertel in München verfertigten Theilmaschine.

§. 7.

Der Fundamentalabstand.

1) Van Swinden: **Dissertation sur la comparaison du thermomètre.** Amsterdam 1778 **p.** 204 — 210.
Im Allgemeinen kann auch verglichen werden: J. H. van Swinden **Positiones physicae T. I. et II. Hardisso 1776.**
1) Libri: **Ann. de chim. et de phys. Ser. 2 T. 45 p. 354** und Pogg. Ann. 21. 239.
3) Van Swinden: **Dissertation sur la comparaison etc. p.** 119 — 125.
4) Van Swinden: a. o. O. **p.** 139 bis 146.
5) Van Swinden: a. o. O. **p.** 34 bis 58.
6) Van Swinden: a. o. O. **p.** 125 bis 138.
7) Van Swinden: a. o. O. **p.** 102 bis 105.
8) Van Swinden: a. o. O. **p.** 106 bis 114.
9) De Luc: Untersuchungen über die Atmosphäre. Uebersetzt aus dem Französischen. Leipzig 1776. §. 427 — §. 458.
10) Van Swinden: a. o. O. **p** 75 bis 91.
11) Van Swinden: a. o. O. **p.** 98 bis 101.
12) Van Swinden: a. o. O. **p.** 115.
13) Ebendaselbst. **p.** 115.
14) Ebendaselbst. **p.** 115.
15) Ebendaselbst. **p.** 92 bis 170.

Nachdem die beiden Fundamentalpunkte, der Frostpunkt und der Siedepunkt, mit der vorhin erwähnten größten Genauigkeit bestimmt worden, wird es nun von besonderer Wichtigkeit sein, die Eintheilungen dieses be-

grenzten Quecksilbercylinders, des Fundamentalabstandes, kennen zu lernen, zumal die verschiedenen Eintheilungen sich enge an die Geschichte des Thermometers knüpfen. — Ueber diesen Gegenstand verdanken wir namentlich den bereits von van Swinden ([1]) angestellten Untersuchungen Vieles, indem er durch mannichfache Nachforschungen im Stande war eine Uebersicht, die auch später tabellarisch nach ihm geordnet folgen soll, über die verschiedenen Eintheilungen zu geben. — Ueber die Scalen von Sanctorius und Drebel, des alten Pariser Thermometers, des Ruguets, Marsigli, Passemant, Derham, Jean Patrick, Deville, Kniphof, Hawkoben, Fricke und Arderon wissen wir nach van Swinden nichts mehr, sondern erst die Florentiner Weingeistthermometer, von denen bereits §. 1 gesprochen, sind die ersten, über die Libri ([2]) Auskunft zu geben vermag. Sechszig Jahre lang, von 1670 bis 1730 ungefähr, bediente man sich dann auf der Pariser Sternwarte des im Ganzen ungenauen Thermometers von de la Hire ([3]) und setzte dann später das erste wahre Luftthermometer Amonton ([4]) in die Stelle, ein Instrument, das einmal seiner Länge (28"), dann auch seiner mangelhaften Einrichtung wegen — (es veränderte sich nicht nur mit der Temperatur, sondern auch mit dem Luftdrucke) — höchst unbequem und ungenau war. Die Thermometer von Poleni, Cruquius und Balthasar sind insofern Nachahmungen, als sie die Skale, wie es schon Amonton vorschlug, auf große Weingeistthermometer übertragen. —

Fahrenheit ([5]) ist ohne Zweifel der erste, welcher mit der größten Genauigkeit eine Eintheilung der Skale vornimmt und somit in der präcisen Beobachtung bei weitem die Resultate Newton's ([6]) übertrifft, die dieser durch ein mit Leinöl gefülltes Thermometerrohr erhalten hat.

Fahrenheit nahm drei Fundamentalpunkte, nämlich den künstlichen, — den natürlichen Gefrierpunkt und den Siedepunkt, als näher zu betrachten an, und

bestimmte den ersten derselben, indem er die Kugel in eine künstliche Kältemischung aus Eis, Wasser und Salmiak oder Kochsalz tauchte. — Er hatte die Meinung, daß tiefere Temperaturen als die, welche das Thermometer nun anzeigen würde, nie vorkämen und theilte er diese Ansicht mit dem berühmten Boerhave. — Ueberhaupt sind von van Swinden drei Fahrenheit'sche Skalen angegeben. Denn indem F. bald nach 1700 seine ersten Weingeistthermometer construirte, gab er ihnen eine Skale, die er später veränderte, und als er nach 1720 statt des Weingeistes das Quecksilber anwandte, gab er eine dritte Skale, die noch jetzt — auf der Angabe Römers beruhend — die gebräuchliche ist. Wir finden in der folgenden Tabelle, die nach der von van Swinden gebildet ist, nicht nur diese drei Skalen, sondern auch die beiden andern, die Fahrenheit ebenfalls zugeschrieben werden, jedoch nicht von ihm herrühren und als falsche Fahrenheit'sche bezeichnet sind. Sie sind so construirt, daß sie mit dem Quecksilberthermometer übereinstimmen und entweder Schmelzwärme 32° F. und Blutwärme 96° F. oder Schmelzwärme 32° F. und Siedewärme 212° F. anzeigen. — Nachdem die Constructionen Fahrenheit's bekannt geworden, fanden sich viele, die nur geringe Abänderungen machten, um Ansprüche an eine neue Construction zu haben. Dahin gehören Kirch und Hanow vor allen, deren Constructionen zu längern Beobachtungen auch benutzt wurden, dann Lange, Maas, Barnsdorf, Fowler, Berger, Ludolf und Miles, die alle wieder in vollständige Vergessenheit gerathen sind. — De l'Isle (⁷) hat zwei verschiedene Thermometer construirt. Das von ihm construirte Weingeistthermometer war so eingerichtet, daß der 0° beim Siedepunkte lag und er mit 100° die Temperatur der unter der Pariser Sternwarte gelegenen Kellerräume, welche constant 10,25° R. war, bezeichnete. — Das Quecksilberthermometer war so construirt, daß die Skale vom Siedepunkte ausgehend anzeigen sollte, um wie viel Zehntausendtheile oder auch

Hunderttausendtheile sich das Quecksilber zusammengezogen habe. Dieses Thermometer ist wohl nie recht im Gebrauch gewesen. Diese Idee de l'Isle's hat ein in Danzig lebender Naturhistoriker aufgenommen und ein eigends für seine Vaterstadt geltendes Instrument construirt. Es ist dieser Verfertiger Reyger, dessen Name sonst nie erwähnt wird, obwohl noch heute in Danzig sehr häufig nach seiner Skale gezählt wird. Reyger wählte als Nullpunkt seiner Thermometer die mittlere Temperatur seines Kellers, der ziemlich constant 5,77° Réaumur und 7,22° Celsius entsprach. Wir werden der Vollständigkeit wegen in der Tabelle van Swinden's seine Skale ebenfalls folgen lassen, da sie doch immer, namentlich noch jetzt ein locales Interesse hat. Ebenso wählte bei dem mit concentrirtem Weingeist gefüllten Thermometer Michely du Crest ([8]) die Temperatur der Keller unter der Pariser Sternwarte und theilte den Fundamentalabstand in 110 Grade.

De Luc ([9]) verdanken wir die exacte Ausbildung des Réaumur'schen 80theiligen Thermometers, denn er beobachtete gleichzeitig ein Quecksilber- und ein Weingeistthermometer und zeigte den Vorzug des ersteren vor dem letzteren. Réaumur ([10]) verfolgte zwei Zwecke bei seiner Construction, denn indem er die Fundamentalpunkte festhielt, sollten gleichzeitig die Grade der Ausdehnung der angewendeten Flüssigkeit dem Weingeiste entsprechen. Nun setzte er das Volum bei der Temperatur des gefrierenden Wassers gleich 1000, das der siedenden gleich 1080 und erhielt die noch jetzt gebräuchliche 80theilige Skale. — Dieser erste Réaumur'sche Thermometer, dessen Nullpunkt etwa dem — 0,8° des jetzigen entspricht, ist von van Swinden als unechtes Réaumur'sches aufgeführt. —

Die Abänderung Brisson's ([11]), dessen Fundamentalpunkte die Siedehitze und die Temperatur des menschlichen Körpers durch 0° und $32\frac{1}{2}$° bezeichnet, ist eine unwesentlich und schließt sich der Construction Réaumur's an. Celsius ([12]) empfahl 1742 die hun-

bra

eter

		La Conr.	Hales.	Newton.	Reyger.	De Luc.
	..	W.	W.	Leinöl.	Q.	Q.
–0	–			– 8,46	– 116	– 20
–6	–60	0,73	– 25,81	– 6,35	– 93,5	– 15
–1	+80	5,41	– 17,25	– 4,23	– 71	– 10
–5	97	10,16	– 8,60	– 2,12	– 48,5	– 5
+0	00	15,00	∓ 0,00	∓ 0,00	– 26	∓ 0
8	46	19,89	8,82	2,13	– 3,5	5
4	78	24,94	17,93	4,24	19	10
6	21	30 25	27,48	6,35	41,5	15
4	70	35,54	37,17	8,46	64	20
0	21	41,14	47,05	10,57	86,5	25
		46,65	56,95	12,69	109	30
				14 80		35
				16,93	154	40
				18,04		45
				21,16	199	50
				23,28		55
				25,39	244	60
				27,51		65
				29 62	289	70
				31,73		75
				33,86	334	80

derttheilige Skale als eine bequemere, setzte aber da, wo wir jetzt am Siedepunkte 110 finden, die Zahl 0 und umgekehrt, so daß erst Strömer ([13]) und Christin ([14]) die jetzt gebräuchliche Zählung einführten. Unwesentliche Skalenveränderungen, die eine Zeit lang an einzelnen Orten als gültig angesehen wurden, finden wir bei Rollet, Sauvage, Mayer, Derham, de la Court, Hales, Richter, bei den Beobachtern in Edinburgh, Didas de Rivillas und Sulzer ([15]). Die Eintheilung Linné's in 100 Theile ist bereits früher (§. 1) erwähnt. — Von allen erwähnten Skalen sind die von Réaumur, Celsius und Fahrenheit, die wir nun mit R., C. und F. bezeichnen wollen, die gebräuchlichsten und sie sind, damit das Sprichwort wahr werde: „der Prophet gilt nichts im Vaterlande" ausgewandert, so daß wir den Franzosen Réaumur in Deutschland, den Deutschen Fahrenheit in England und den Schweden Celsius in Frankreich wieder finden. Demnach, wie auch aus der folgenden Tabelle zu ersehen, ergeben sich folgende Reductionsformeln:

$$\text{R.} = \tfrac{4}{5}\ \text{C.}$$
$$\text{C.} = \tfrac{5}{4}\ \text{R.}$$
$$\text{R.} = \tfrac{4}{9}\ (\text{F.} - 32).$$
$$\text{C.} = \tfrac{5}{9}\ (\text{F.} - 32).$$
$$\text{F.} = \tfrac{9}{4}\ \text{R.} + 32.$$
$$\text{F.} = \tfrac{9}{5}\ \text{C.} + 32.$$

Hierher folgende Tabelle.

§. 9.

Aus der vorstehenden Tabelle ergeben sich folgende Reductionen, wenn wir noch mit Rg. die Skale von Reyger bezeichnen. —

I. n^0 C. $= \frac{4}{5}\, n^0$ R. $= \frac{9}{5}\, n^0 + 32$ F. $= \frac{18}{5}\, n^0 - 26$ Rg.
II. n^0 R. $= \frac{5}{4}\, n^0$ C. $= \frac{9}{4}\, n^0 + 32$ F. $= \frac{9}{2}\, n^0 - 26$ Rg.
III. n^0 F. $= \frac{5}{9}\,(n^0 - 32)$ C. $= \frac{4}{9}\,(n^0 - 32)$ R. $= 2\,(n^0 - 45)$ Rg.
IV. n^0 Rg. $= \frac{5}{18}\,(n^0 + 26)$ C. $= \frac{2}{9}\,(n^0 + 26)$ R. $= \frac{1}{2}\, n^0 \pm 45$ F.

Beispiele: 1) 10 Grade C. betragen wie viele Grade R., F. und Rg.?

Es ist nach I.

$$10^0 \text{ C.} = \frac{4 \cdot 10}{5} = 8^0 \text{ R.}$$
$$10^0 \text{ C.} = \frac{9}{5} \cdot 10 + 32 = 50^0 \text{ F.}$$
$$10^0 \text{ C.} = \frac{18}{5} \cdot 10 - 26 = 10^0 \text{ Rg.}$$

2) Wie viele in diesem Grade betragen -30^0 C.?

$$-30^0 \text{ C.} = -\frac{4}{5} \cdot 30 = -24^0 \text{ R.}$$
$$-30^0 \text{ C.} = -\frac{9}{5} \cdot 30 + 32 = -22^0 \text{ F.}$$
$$-30^0 \text{ C.} = -\frac{18}{5} \cdot 30 - 26 = -134^0 \text{ Rg.}$$

3) 24 Grade R. betragen wie viele Grade C., F. und Rg.?

Es ist nach II.

$$24^0 \text{ R.} = \frac{5}{4} \cdot 24^0 = 30^0 \text{ C.}$$
$$24^0 \text{ R.} = \frac{9}{4} \cdot 24^0 + 32 = 86^0 \text{ F.}$$
$$24^0 \text{ R.} = \frac{9}{2} \cdot 24^0 - 26 = 82^0 \text{ Rg.}$$

4) 68^0 F. entsprechen welchen Graden der Skale nach R., C. und Rg.?

Es ist nach III.

$$68^0 \text{ F.} = \frac{5}{9}\,(68^0 - 32^0) \text{ C.} = 20^0 \text{ C.}$$
$$68^0 \text{ F.} = \frac{4}{9}\,(68^0 - 32^0) \text{ R.} = 16^0 \text{ R.}$$
$$68^0 \text{ F.} = 2\,(68^0 - 45^0) \text{ Rg.} = 46 \text{ Rg.}$$

5) Wie viel aber sind -22^0 F.?

$$-22^0 \text{ F.} = \frac{5}{9}\,(-22 - 32) \text{ C.} = -30 \text{ C.}$$
$$-22^0 \text{ F.} = \frac{4}{9}\,(-22 - 32) \text{ R.} = -24 \text{ R.}$$
$$-22^0 \text{ F.} = 2\,(-22 - 45) \text{ Rg.} = -134 \text{ Rg}$$

6) 100° Rg. sind wie viele Grade R., C. und F.? Es ist nach IV.

100° Rg. $= \frac{5}{18}(100^\circ + 26)$ C. $= 35^\circ$ C.
100° Rg. $= \frac{2}{9}(100^\circ + 26)$ R. $= 28^\circ$ R.
100° Rg. $= \frac{1}{2} \cdot 100^\circ + 45 = 95^\circ$ F.

7) Welchen Graden aber entsprechen -98° Rg.?

-98° Rg. $= \frac{5}{18}(-98 + 26)$ C. $= -20^\circ$ C.
-98° Rg. $= \frac{2}{9}(-98 + 26)$ R. $= -16^\circ$ R.
-98° Rg. $= \frac{1}{2} \cdot -98 - 45$ F. $= -4^\circ$ F.

Wir machen allerdings hierbei darauf aufmerksam, wie es bereits A. d'Abbadie (Compt. rendu XXX. 570; und Instit. 1850, 156) gethan, daß die Reduction englischer Temperaturangaben in Fahrenheit'schen Graden auf das hunderttheilige Thermometer streng und genau genommen nicht nach der Reductionsformel $C. = \frac{(F. - 32)\ 100}{180}$ auszuführen sei, da in den englischen Thermometern der Siedepunkt für 30 englische Zoll Barometerstand $= 761{,}99^{mm}$ bestimmt wird, bei dem französischen jedoch für 760^{mm}, und ein hunderttheiliges Thermometer der letzten Art bei 30 englischen Zoll Luftdruck $100{,}073^\circ$ als den Siedepunkt des Wassers zeigen wird.

Außerdem hat man genau genommen noch den Unterschied der Schwere in Paris und London zu berücksichtigen, so daß man in Erwägung dieser Thatsachen mit Abbadie die Reductionsformel erhält:

$$C. = \frac{(F. - 32)\ 100{,}08066}{180.}$$

Man hat nun in England für officielle Vergleichungen nach Maßen und Gewichten festgesetzt, daß der Punkt 212° F. der Siedetemperatur des Wassers bei dem von Laplace als dem normalen betrachteten Luftdruck entsprechen soll, oder bei einem (auf 0R reducirten) Stand des Barometers (in englischen Zollen)

$$29{,}4218 + 0{,}0766 \cos 2\,\varphi + 0{,}00000179\ h$$

wo φ die geographische Breite des Ortes und h seine Höhe über dem Meere in englischen Füßen bedeutet. — d'Abbadie hält es somit mit Recht für nöthig, bei der Graduirung genauer Thermometer den Einfluß der Höhe und Breite auf die Schwere und somit auf den Barometerstand zu berücksichtigen und schlägt vor (compt. rend. 40,847) für das hundertheilige Thermometer den Punkt 100° entsprechen zu lassen, der Temperatur des Dampfes von Wasser, welches siedet bei einem (auf 0° reducirten) Barometerstand (in Millimetern)

$$760 + 1{,}98 \cos 2 \varphi + 0{,}000238\ H$$

wo φ die Breite des Ortes und H seine Meereshöhe über dem Meere bedeutet. —

Wir wollen schließlich, da wir vom Fundamentalabstande sprechen, nicht unerwähnt lassen, daß Walferdin (Compt. rend. 41,122) den Vorschlag gemacht hat, um bei Temperaturangaben negative Zeichen und die daraus möglicherweise entspringenden Irrthümer zu vermeiden, eine neue vierhunderttheilige Skale einzuführen.

Er will die Temperatur des schmelzenden Quecksilbers (also — 40°, C.) mit 0° die des schmelzenden Eises mit 40°, und die des bei 760^{mm} Barometerstand siedenden Wassers mit 140° und die des siedenden Quecksilbers (bei 360° C.) mit 400° bezeichnen. Es haben die einzelnen Grade dieser Skale dieselbe Größe wie die Grade der hunderttheiligen Skalen, aber um 40 größere Zahlen. —

Da nun selten das Quecksilber in der Röhre eines Thermometers oder in einem Theile derselben eine niedere Temperatur als in dem Gefäße des Thermometers haben kann, so ist doch an der unmittelbaren Ablesung eine Correction anzubringen, damit man die Temperatur der Umgebung des Thermometergefäßes genau erhalte.

Um diese Correction zu erleichtern, hat H. Kopp in den Annalen der Chemie und Pharmacie von Liebig und Wöhler (Leipzig) herausgegeben Bd. 94 p. 226 eine Tabelle mitgetheilt, auf die wir für solche

practische Fälle, in denen sie gebraucht werden soll, aufmerksam machen. —

Correction des Thermometers.

1) Bessel. Calibrirmethode: Astronomische Beobachtungen in Königsberg von Bessel. Siebente Abtheilung, Seite 9 und Pogg. Ann. Bd 6 p. 287
2) August. Reductionsformeln für das Quecksilberthermometer bei hohen Wärmegraden. Pogg. Ann. 13 S. 119.

Wir dürfen hier nicht auf die Correctionen der Fundomentalpunkte zurückkommen, da wir bereits dort von ihrer genauen Bestimmung gesprochen haben und bereits der nothwendigsten und genauesten Berichtigungen Erwähnung gethan haben; es bleibt uns nur hier vor Allem eine zu besprechen übrig, nämlich die, welche Bessel (1) so meisterhaft geschaffen hat, und die alle früheren von Gay-Lussac, Hällström, Rudberg und Egen bekannt gemachten übertrifft. Da ein stückweises Wiedergeben der Methode ganz ohne Nutzen, so lassen wir sie so folgen, wie der große Königsberger Mathematiker und Astronom sie veröffentlicht hat. —

§. 10.

Bessel's Calibrirungsmethode.

Da man sehr selten, nach der Behauptung Einiger sogar nie, genau cylindrische Thermometerröhren findet, so wird es nothwendig, eine Methode zu besitzen, durch welche man entweder aus fehlerhaften Röhren fehlerfreie Thermometer verfertigen, oder die Verbesserungen schon fertiger Thermometer genau bestimmen und dann bei jeder Beobachtung in Rechnung bringen kann. Das erstere hat Gay-Lussac geleistet, indem er die Röhre nicht nach der Länge, sondern nach ihrem inneren Raume, und zwar mittelst mehrerer Quecksilberfäden zuerst in

zwei, dann in vier, acht u. s. w. gleiche Theile eintheilte und endlich die Skale so auftrug, daß ihre Grade diesen gleichen Theilen des inneren Raumes entsprachen. Da aber auf diese Art die Skale ungleichförmig getheilt werden muß, und dieses in der Ausführung schwieriger ist als die gleichförmige Theilung, auch bei der Verbindung der Röhre mit der Skale neue Fehler entstehen können, so schien Bessel das zweite, nämlich eine Berichtigungsmethode, welche auf jedes Thermometer angewandt werden kann, insofern es nur die auch bei dem Gebrauche desselben unerläßliche Bedingung erfüllt, daß die Skale oder Röhre nicht plötzliche, sondern allmälig zu- oder abnehmende Unrichtigkeiten habe, noch wünschenswerther zu sein. Im Allgemeinen verdienen die Berichtigungen aller Instrumente durch Rechnung einen entschiedenen Vorzug vor den auf mechanischen Mitteln beruhenden; B. glaubt sogar, daß die Verfertiger der Instrumente keineswegs verantwortlich sind für Alles, was der Besitzer selbst prüfen, und dessen Verbesserungen selbst in Zahlen bestimmen kann; — wenigstens wird Jeder, der die Ueberzeugung mit ihm theilt, daß nur dann gute Beobachtungen gelingen können, wenn man dahin gelangt, jeden möglichen Fehler des Instrumentes ganz aus dem Resultate zu entfernen, dem Verfertiger desselben wenig Dank für die Mühe sagen, welche er darauf verwandt hat, eine bestimmbare Verbesserung etwas kleiner zu machen. Dagegen muß aller Fleiß angewandt werden, die Instrumente so einzurichten, daß ihre Prüfung in allen Theilen möglich wird: für ein Thermometer z. B. sind Abweichungen der Röhre von der cylindrischen Form und Unrichtigkeiten in der Bestimmung der festen Punkte unbedeutende Fehler, weil der Besitzer sie in Rechnung bringen kann; sprungweise Unregelmäßigkeiten der Skale, — nicht ganz unter der Röhre durchgezogene Theilstriche, welche der Genauigkeit der Ablesung nachtheilig, — Skalen von Elfenbein, welche hygrometrisch sind, — dieses sind bedeutende Fehler, indem sie sich der genauen Berichtigung widersetzen.

— Eine Methode, die Fehler der Thermometer in Zahlen zu bestimmen, suchte B. im Jahre 1820, da es nothwendig wurde, die Temperaturen, bei welchen die astronomischen Beobachtungen angestellt wurden, genau zu kennen; er hat dieselbe in der VII. Abtheilung der Tagebücher der Sternwarte Königsbergs beschrieben.

Die Berichtigung des Thermometers zerfällt in zwei Theile, deren Absonderung zweckmäßig ist. Zuerst muß für jeden Grad x der Skale eine Verbesserung bestimmt werden, welche wir durch φ x bezeichnen wollen, so daß gleiche Aenderungen, nicht von x, sondern von x + φ x, zu gleichen Aenderungen des inneren Raumes der Röhre gehören. Dann müssen der Eis- und Siedepunkt bestimmt werden, deren Ort auf der Skale durch e und s bezeichnet wird; diese Bestimmungen ergeben den wahren Fahrenheit'schen Grad, welcher einem Punkte x der Skale entspricht, nach der Proportion

$$s + \varphi s - (e + \varphi e) : 180 = x + \varphi x - (e + \varphi e) : f - 32$$

oder

$$f = 32 + 180 \cdot \frac{x + \varphi x - (e + \varphi e)}{s + \varphi s - (e + \varphi e)}.$$

Bessel's Methode setzt voraus, daß man von dem Quecksilberfaden im Thermometer größere und kleinere Stücke abtrennen und auch wieder damit vereinigen könne. Das erstere hat er meistens durch Erwärmung der Röhre über der Lichtflamme, an der Stelle, wo der Faden getrennt werden sollte, bewirkt; die Wiedervereinigung erfolgt bei weiteren Röhren ohne Schwierigkeit durch wiederholtes gelindes Aufstoßen des Thermometers, er hat sie aber auch bei sehr engen Röhren, wenn auch weniger schnell, stets erhalten.

Unter den verschiedenen Anwendungen der abgetrennten Fäden, wodurch man zu der Bestimmung von φ x gelangen kann, bietet sich das fortgesetzte Halbiren des inneren Raumes der Röhre zuerst dar. Man trennt z. B. einen Faden ab, welcher sehr nahe die Hälfte des Raumes zwischen 0 und 160° ausfüllt, bringt denselben

zuerst mit seinem unteren Ende auf 0, dann mit dem oberen auf 160°, und beobachtet in beiden Fällen die Punkte der Scale; wo das entgegengesetzte Ende sich befindet; fallen diese Punkte zusammen, so bezeichnet der Punkt a, wo dieses stattfindet, die Mitte des Raumes von 0 bis 160°; sind sie aber auch um einige Grade von einander entfernt, so wird die Mitte derselben dennoch den Punkt a mit hinreichender Genauigkeit angeben. Man hat also $a + \varphi a = 80°$ oder

$$\varphi a = 80 - a.$$

Nun halbirt man durch einen neuen, nahe halb so langen Faden, die Räume zwischen 0 und a, und zwischen a und 160 und bestimmt dadurch zwei neue Punkte b und b', welche $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ des Raumes zwischen 0 und 160 entsprechen, und also

$$\varphi b = 40 - b \cdot \varphi b' = 120 - b'$$

ergeben. Mit demselben Faden, dessen Länge in Hundertundsechszigtheilen des Raumes zwischen 0 und 160 ausgedrückt; nun bekannt geworden ist, bestimmt man noch einen dritten Punkt, welcher um diese Fadenlänge über 160 hinaus liegt. Eine dritte Halbirung des Fadens (oder, wenn er dadurch zu kurz werden sollte, um sich noch leicht in der Röhre zu bewegen, eine Halbirung von 120°) bestimmt die Punkte, welche $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{9}{8}$ des Raumes entsprechen; und so setzt man dieses Verfahren fort, bis man auf hinreichend kleine Theile kömmt, um die Stetigkeit der Verbesserungen annehmen zu können.

Dieses Verfahren ist kein anderes als das von Gay-Lussac angegebene, nur auf bereits fertige Thermometer angewandt. Dasselbe Verfahren ist auch von dem vortrefflichen, alle seine Arbeiten durch die consequenteste Genauigkeit zierenden Hällström, in einer, in Åbo am 25. Juni 1823, unter seinem Präsidio, durch Eduard Bergheim vertheidigten Dissertation vorgeschlagen und ausgeführt worden. Bessel hat dagegen, bei den von ihm ausgeführten Thermometerberichtigungen, eine andere Anordnung der Versuche gewählt, welche den Vortheil darbietet, daß man jeden

Punkt der Scale, durch von einander unabhängige Versuche, so oft bestimmen kann, als man für gut findet, wodurch man also den Einfluß der kleinen Ablesungsfehler bis zum Unmerklichen verkleinern kann. Diese Methode, die wir nun beschreiben werden, ist in ihrem Ansehen weniger einfach als das fortgesetzte Halbiren, allein bei der Ausführung hat man nicht gefunden, daß sie billige Wünsche unbefriedigt ließe.

Man trennt zuerst einen sehr langen Faden z. B. 150 bis 160° F. ab, bringt das untere Ende desselben successive auf diejenigen runden Zahlen von Graden am unteren Ende der Scale, für welche man die oben durch φ x bezeichneten Verbesserungen bestimmen will, z. B. von 10 zu 10°, und schreibt jedesmal den Ort des oberen Endes an, so lange als dieser noch nicht den höchsten Punkt der Scale überschreitet. Dann vereinigt man diesen Faden wieder und nimmt einen zweiten, etwa 10° kürzeren, mit welchem man wie mit dem ersten verfährt. Diese Verkürzung der Fäden und dasselbe Verfahren mit jedem setzt man fort bis zu einem Faden, dessen Länge kleiner ist als die Hälfte der ersten, oder auch noch weiter; — die Länge der einzelnen Fäden ist willkürlich, allein man erlangt desto größere Genauigkeit, je größer ihre Anzahl ist.

Um hiervon ein Beispiel zu geben, an welchem auch die Berechnungsart erläutert werden soll, wählen wir ein von — 40° bis 230° F. getheiltes Thermometer; absichtlich eins, dessen Verbesserungen sich sehr bedeutend ergeben. Dieses Thermometer wurde durch 8 Fäden geprüft, und jede Ablesung wurde zweimal wiederholt, wobei noch halbe Zehntel der Grade zu schätzen versucht wurden, aber oft sich Unterschiede von einem bis anderthalb Zehntel fanden. Das Mittel aus beiden Ablesungen ist in folgender Tafel angenommen.

Tafel I.

Unteres Ende.	Oberes Ende der verschiedenen Fäden.							
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
— 40°	112,15°	101,65°	92,88°	82,70°	67,70°	58,23°	—	—
— 30	123,00	112,58	103,78	93,30	78,25	68,65	56,70	—
— 20	133,78	123,28	114,85	104,18	89,10	79,33	67,05	51,00
— 10	144,75	134,23	125,73	115,33	100,08	90,18	77,85	61,35
0	155,55	145,08	136,35	126,00	110,95	101,03	88,68	71,90
+ 10	166,15	155,80	147,20	136,85	121,68	111,93	99,40	82,60
+ 20	176,95	166,45	158,00	147,60	132,43	122,78	110,30	93,30
+ 30	187,40	177,10	168,70	158,25	143,25	133,60	121,65	104,25
+ 40	198,00	187,73	179,23	169,05	154,03	144,28	131,90	115,15
+ 50	208,70	198,30	189,85	179,70	164,83	155,08	142,78	126,00
+ 60	219,35	208,68	200,23	190,03	175,25	165,55	153,33	136,55
+ 70	229,73	219,28	210,45	200,25	185,30	175,95	163,60	146,95
+ 80	—	229,38	220,80	210,10	195,35	185,73	173,45	156,90
+ 90	—	—	230,70	220,48	205,28	195,65	183,30	166,93
+ 100	—	—	—	230,30	215,20	205,38	193,08	176.65
+ 110	—	—	—	—	225,20	215,30	202,85	186,28
+ 120	—	—	—	—	—	225,30	212,73	196,03
+ 130	—	—	—	—	—	—	222,90	206,20
+ 140	—	—	—	—	—	—	—	216,15
+ 150	—	—	—	—	—	—	—	226,38

Man kann leicht übersehen, daß diese Beobachtungen weit mehr als hinreichend sind, um φ x für alle Punkte der Scale zu bestimmen; schon zwei Fäden sind hinreichend, wenn nur das obere Ende des kürzeren in seinem niedrigsten Stande nicht höher hinaufreicht, als das untere Ende des längeren in seinem höchsten Stande. Wir werden dieses an dem Beispiele des I. und V. Fadens zeigen. Es ist nämlich klar, daß der Raum welcher unten, durch das Hinaufrücken der Fäden, leer wird, und der, welcher sich dadurch oben anfüllt, einander gleich sind; man hat also aus den beiden ersten Beobachtungen des I. Fadens

$$[-30^{\circ} + \varphi(-30)] - [40^{\circ} + \varphi(-40)]$$
$$= [123^{\circ},00 + \varphi(123,00)] - [112^{\circ},15 + \varphi(112,15)]$$

oder

$$\varphi(-30) - \varphi(-40) = +0^{\circ}85 + \varphi(123,00) - \varphi(112,15)$$

und auf dieselbe Art aus der Verbindung jeder zwei auf einander folgenden Beobachtungen des I. Fadens 11 Gleichungen; aus denen des V. Fadens 15 Gleichungen; also im Ganzen 26 Gleichungen. Nimmt man nun an, daß man aus den Werthen von φ x für jeden 10. Grad der Scale alle übrigen durch Interpolation finden kann, so erfordert die vollständige Kenntniß der Verbesserungen der Scale, die Bestimmung von

$$\varphi(-40),\ \varphi(-30)\ \ .\ .\ .\ \ (\varphi(220),\ \varphi(230),$$

welche 28 unbekannte Größen also gefunden werden müssen. Zwei davon können aber willkürlich angenommen werden, indem der Raum, welcher als Einheit dienen soll, durch zwei willkürliche Punkte der Scale bestimmt werden kann. Also bleiben nur 26 unbekannte Größen übrig, durch welche alle in den 26 Gleichungen vorkommenden Verbesserungen ausgedrückt werden können, und die Zahl dieser Gleichungen ist gerade hinreichend zur Bestimmung derselben.

Hätte man statt des V. Fadens einen der vorhergehenden mit dem I. Faden verbunden, so würde man weniger Gleichungen als unbekannte Größen erhalten haben; hätte man einen der folgenden gewählt, so würde die Zahl der Gleichungen größer geworden sein als die der unbekannten Größen. In dem ersten Falle wäre daher die Aufgabe unbestimmt geblieben, in dem anderen wäre sie mehr als bestimmt, und man müßte zu ihrer Auflösung die Methode der kleinsten Quadrate anwenden. Durch diese Methode sollte man auch die 26 unbekannten Größen so bestimmen, daß sie allen, im vorigen Artikel verzeichneten, Beobachtungen so nahe als möglich Genüge leisten; allein diese Anwendung derselben würde so mühsam und zeitraubend sein, daß kein Rechner sie unternehmen könnte. Wir wollen daher eine andere Rechnungsart angeben, welche etwa zu demselben Ziele führt und sich durch ausgezeichnete Leichtigkeit empfiehlt.

Diese Rechnungsart beruht auf der Voraussetzung, daß das arithmetische Mittel aus den Werthen von φ x für viele verschiedene Punkte in einer Hälfte der Scale näherungsweise eine beständige Größe ist, für welche man auch 0 annehmen kann, indem es nicht auf die absolute Größe, sondern nur auf die Unterschiede der Verbesserungen φ x ankömmt; sie führt durch successive Annäherungen zum Ziele, desto schneller, je mehr sich die Voraussetzung der Wahrheit nähert und je größer die Anzahl der beobachteten Fäden ist.

Wenn man die Längen der verschiedenen Fäden, alle in einem gleichen, obgleich an sich willkürlichen Maße ausgedrückt, kennt, so giebt die gemachte Voraussetzung offenbar eine annäherungsweise Bestimmung von φ x für alle Theile der Scale; denn von jedem Punkte x reichen die Fäden bis zu vielen anderen, und da x, durch jeden Faden von bekannter Länge, dessen eines Ende mit x zusammenfällt, durch den Punkt der Scale bestimmt wird, wo das andere Ende sich befindet, so erhält man für jedes x so viele Bestimmungen, als man

Fäden hat, nnd das Mittel aus allen ist; auch wenn man die Verbesserungen der Scale für das andere Ende der Fäden vernachlässigt, der Voraussetzung zufolge, eine Näherung. Man erhält also eine erste Annäherung, wenn man die Punkte in der unteren Hälfte der Scale durch die Punkte in der oberen, und diese wieder durch jene bestimmt. Eine zweite Annäherung erhält man, wenn man die durch die ersten gefundenen Werthe von φ x den gefundenen Beobachtungen (Tafel I) hinzusetzt, und mit den dadurch veränderten Zahlen der Tafel dieselbe Rechnung wiederholt. Diese Annäherungen kann man, immer auf dieselbe Weise, so oft wiederholen als man will, wird aber, wenn das Thermometer nicht gar zu fehlerhaft ist, oder man die größten Fehler, auf eine unten anzuzeigende Art, vorher ausgleicht, schon bei der zweiten Annäherung auf ein Resultat kommen, welches durch die folgenden nicht mehr erhebliche Verbesserungen erhält.

Dieses Verfahren hat aber die Schwierigkeit, daß man die Fadenlängen, in einem gleichen Maße ausgedrückt, nicht kennt; wir wollen daher an dem zum Beispiele gewählten Thermometer zeigen, wie diese Schwierigkeit beseitigt wird.

Wir nehmen ein willkürliches Maß eines der Fäden an, etwa so, wie man es in der oberen Hälfte der Scale findet, z. B. des ersten Fadens = 159,6°; die anderen Fäden nehmen wir etwa so an, wie sie in derselben Gegend der Röhre erscheinen, fügen diesen Annahmen aber noch unbestimmte Verbesserungen f (2), f (3) u. s. w. hinzu, so daß die wahren Fadenlängen, alle in demselben Maße ausgedrückt, in welchem der erste 159,6° mißt, durch

I = 159,6
II = 149,2 + f (2)
III = 140,5 + f (3)
IV = 130,3 + f (4)
V = 115,2 + f (5)

$$\begin{aligned} VI &= 105{,}7 + f\,(6) \\ VII &= 93{,}3 + f\,(7) \\ VIII &= 76{,}6 + f\,(8) \end{aligned}$$

bezeichnet werden.

Durch diese Annahme erhält man 8 Bestimmungen eines jeden Punktes, an welchem das untere Ende der Fäden sich befand, z. B. für 70° der Scale,

$$\begin{aligned} 70^0 + \varphi\,(70) &= 70{,}13^0 + \varphi\,(229{,}73) \\ &= 70{,}18 + \varphi\,(219{,}28) - f\,(2) \\ &= 69{,}95 + \varphi\,(210{,}45) - f\,(3) \\ &= 69{,}95 + \varphi\,(200{,}25) - f\,(4) \\ &= 70{,}10 + \varphi\,(185{,}30) - f\,(5) \\ &= 70{,}25 + \varphi\,(175{,}95) - f\,(6) \\ &= 70{,}30 + \varphi\,(163{,}60) - f\,(7) \\ &= 70{,}35 + \varphi\,(146{,}95) - f\,(8) \end{aligned}$$

und wenn man aus denselben das arithmetische Mittel nimmt, und dabei, der Voraussetzung gemäß, das Mittel aus den 8 Verbesserungen näherungsweise $= 0$ setzt,

$$70 + \varphi\,(70) = 70{,}14 - \tfrac{1}{8}\left(f(2) + f\,(3) + \ldots + f(8)\right)$$

oder, wenn man $\frac{1}{8}\left(f\,(2) + f\,(3) + \ldots f\,(8)\right)$ durch F bezeichnet

$$\varphi\,(70) = +\ 0{,}14 - F$$

Auf diese Art erhält man die erste Näherungsbestimmung aller Punkte, an welchen die unteren Enden aller 8 Fäden beobachtet sind, hier also von $-\ 20^0$ bis $+\ 70^0$, nämlich:

$$\begin{aligned} \varphi\,(-\ 20^0) &= -\ 5{,}98 - F \\ \varphi\,(-\ 10\ ) &= -\ 5{,}11 - F \\ \varphi\,(\ \ 0\ ) &= -\ 4{,}36 - F \\ \varphi\,(+\ 10\ ) &= -\ 3{,}60 - F \\ \varphi\,(\ 20\ ) &= -\ 2{,}91 - F \\ \varphi\,(\ 30\ ) &= -\ 2{,}11 - F \\ \varphi\,(\ 40\ ) &= -\ 1{,}38 - F \\ \varphi\,(\ 50\ ) &= -\ 0{,}65 - F \\ \varphi\,(\ 60\ ) &= -\ 0{,}18 - F \\ \varphi\,(\ 70\ ) &= -\ 0{,}14 - F \end{aligned}$$

Man addirt nun zu $-20^{o} + \varphi(-20)$, $-10^{o} + \varphi(-10)$ u. s. w. die Länge des ersten Fadens und erhält dadurch die Bestimmung der Punkte der Scale, wo sich das obere Ende des Fadens befand; z. B. für die Beobachtung, bei welcher das untere Ende auf 20°, das obere auf 133,78 fiel:

$$-20^{o} + \varphi(-20) = -25{,}98 - F$$

Länge des I. Fadens . . = 159,6

$$133{,}78 + \varphi(133{,}78) = 133{,}62 - F$$

oder . . . . $\varphi(133{,}78) = -\ 0{,}16 - F$

Hierdurch erhält man für alle Beobachtungen von -20° bis $+70^{o}$, durch den ersten Faden:

$$\varphi(133{,}78) = -0{,}16 - F$$
$$\varphi(144{,}75) = -0{,}26 - F$$
$$\varphi(155{,}55) = -0{,}31 - F$$
$$\varphi(166{,}15) = -0{,}15 - F$$
$$\varphi(176{,}95) = -0{,}26 - F$$
$$\varphi(187{,}40) = +0{,}10 - F$$
$$\varphi(198{,}00) = +0{,}22 - F$$
$$\varphi(208{,}70) = +0{,}25 - F$$
$$\varphi(219{,}35) = +0{,}07 - F$$
$$\varphi(229{,}73) = -0{,}07 - F$$

ebenso durch den II. Faden:

$$\varphi(123{,}23) = -0{,}06 - F + f(2)$$
$$\varphi(134{,}23) = -0{,}14 - F + f(2)$$
$$\varphi(145{,}08) = -0{,}24 - F + f(2)$$
$$\varphi(155{,}80) = -0{,}20 - F + f(2)$$
$$\varphi(166{,}45) = -0{,}16 - F + f(2)$$
$$\varphi(177{,}10) = -0{,}01 - F + f(2)$$
$$\varphi(187{,}73) = +0{,}09 - F + f(2)$$
$$\varphi(198{,}30) = +0{,}25 - F + f(2)$$
$$\varphi(208{,}68) = +0{,}36 - F + f(2)$$
$$\varphi(219{,}28) = +0{,}06 - F + f(2)$$

und durch alle 8 Fäden ähnliche Resultate. Nimmt man aus jeder dieser 8 Reihen das arithmetische Mittel,

und setzt man, immer der Voraussetzung zufolge, das Mittel aus den links vom Gleichheitszeichen befindlichen Verbesserungen = 0, so erhält man dadurch die zur genäherten Bestimmung von f (2), f (3) u. s. w. nothwendigen Gleichungen, nämlich:

I Faden	0 =	— 0,06 — F
II „	0 =	— 0,00 — F + f (2)
III „	0 =	— 0,17 — F + f (3)
IV „	0 =	— 0,04 — F + f (4)
V „	0 =	— 0,10 — F + f (5)
VI „	0 =	+ 0,12 — F + f (6)
VII „	0 =	+ 0,09 — F + f (7)
VIII „	0 =	+ 0,08 — F + f (8)

woraus

f (2) = — 0,06
f (3) = + 0,11
f (4) = — 0,02
f (5) = + 0,04
f (6) = — 0,18
f (7) = — 0,15
f (8) = — 0,14

oder die verbesserten Fadenlängen

I	= 159,60
II	= 149,14
III	= 140,61
IV	= 130,28
V	= 115,24
VI	= 105,52
VII	= 93,15
VIII	= 76,46

folgen.

Durch die gefundenen Werthe von f (2), f (3), . . ist man in den Stand gesetzt, die durch den II, III, . . . Faden erhaltenen Bestimmungen der oberen Punkte, von den ihnen noch anhängenden f (2), f (3), . . . zu be-

freien; der II Faden giebt z. B. durch Hinzufügung von $f(2) = -0{,}06$,

$$\varphi(123{,}28) = -0{,}12 - F$$
$$\varphi(134{,}23) = -0{,}20 - F$$
$$\varphi(145{,}08) = -0{,}30 - F$$
$$\varphi(155{,}80) = -0{,}26 - F$$
$$\varphi(166{,}45) = -0{,}22 - F$$
$$\varphi(177{,}10) = -0{,}07 - F$$
$$\varphi(187{,}73) = +0{,}03 - F$$
$$\varphi(198{,}30) = +0{,}19 - F$$
$$\varphi(208{,}68) = +0{,}30 - F$$
$$\varphi(219{,}28) = 0{,}00 - F$$

Nun schreibt man die beobachteten oberen Punkte sämmtlicher Fäden, nach der ersten Tafel (Tafel I) in der Ordnung, in welcher sie aufeinander folgen, und setzt jeden, für welchen die Verbesserung schon gefunden ist, diese bei. Den Anfang der hierdurch erhaltenen Tafel benutzt man, um durch das arithmethische Mittel aus mehreren nahe beisammenliegenden Verbesserungen die Verbesserungen φ 80°, φ 90° . . . φ 150° zu erhalten, und diese wieder um alle noch leeren Plätze der Tafel auszufüllen, wodurch man die Verbesserungen bis zu dem höchsten Punkte der Scale erhalten wird. Sobald man diese kennt, bestimmt man die unteren, nicht bei allen Fäden beobachteten Punkte, hier also — 40° und — 30°. Auf diese Art erhält man die erste Annäherung vollständig, und es geht aus dem Verfahren hervor, daß allen so bestimmten Werthen der Verbesserungen noch — F anhängt, welches, da es für alle gleich ist, weggelassen werden kann.

Wir wollen den letzten Theil der Rechnung, durch die Mittheilung der erwähnten Zusammenstellung aller Verbesserungen anschaulich machen und dabei die zuerst ausgefüllten Zahlen durch einen (*) bezeichnen.

Tafel II.

x	φ x	x	φ x
51,00	— 0,52*	131,90	— 0,13*
61,35	0,00*	132,43	— 0,10*
67,05	+ 0,12*	133,60	— 0,19*
71,90	+ 0,20*	133,78	— 0,16*
77,85	+ 0,19*	134,23	— 0,20*
79,33	+ 0,21*	136,35	— 0,10*
82,60	+ 0,26*	136,55	— 0,27*
88,68	+ 0,11*	136,85	— 0,17*
89,10	+ 0,16*	142,78	— 0,28*
90,18	+ 0,23*	143,25	— 0,12*
93,30	+ 0,25*	144,28	— 0,14*
99,40	+ 0,15*	144,75	— 0,26*
100,08	+ 0,05*	145,08	— 0,30*
101,03	+ 0,13*	146,95	— 0,35*
104,18	+ 0,12*	147,20	— 0,19*
104,25	+ 0,10*	147,60	— 0,23*
110,30	— 0,06*	153,33	— 0,36*
110,95	— 0,07*	154,03	— 0,17*
111,93	— 0,01*	155,08	— 0,21*
114,85	— 0,22*	155,55	— 0,31*
115,15	— 0,07*	155,80	— 0,26*
115,33	— 0,16*	156,90	— 0,22*
121,05	— 0,01*	158,00	— 0,30*
121,68	— 0,04*	158,25	— 0,08*
122,78	— 0,17*	163,60	— 0,07*
123,28	— 0,12*	164,83	— 0,24*
125,73	— 0,23*	165,55	— 0,21*
126,00	— 0,19*	166,15	— 0,15*
126,00	— 0,08*		

x	φ x
166,45	— 0,22*
166,93	— 0,28
168,70	— 0,20*
169,05	— 0,15*
173,45	— 0,08
175,25	— 0,19*
175,95	+ 0,01*
176,65	— 0,07
176,95	— 0,26*
177,10	— 0,07*
179,23	0,00*
179,70	— 0,07*
183,30	+ 0,04
185,30	— 0,06*
185,73	+ 0,01
186,28	+ 0,14
187,40	+ 0,10*
187,73	+ 0,03*
189,85	+ 0,11*
190,03	+ 0,07*
193,08	+ 0,19
195,35	+ 0,11
195,65	+ 0,06
196,03	+ 0,32
198,00	+ 0,22*
198,30	+ 0,19*
200,23	+ 0,20*
200,25	+ 0,15*

x	φ x
202,85	+ 0,26
205,28	+ 0,15
205,38	+ 0,26
206,20	+ 0,11
208,68	+ 0,30*
208,70	+ 0,25*
210,10	+ 0,40
210,45	+ 0,30*
212,73	+ 0,31
215,20	+ 0,16
215,30	+ 0,18
216,15	+ 0,11
219,28	0,00*
219,35	+ 0,07*
220,48	0,01
220,80	+ 0,03
222,90	+ 0,10
225,20	0,00
225,30	+ 0,11
226,38	— 0,15
229,38	— 0,02
229,73	— 0,07*
230,30	+ 0,10
230,70	+ 0,10

Die Bestimmung von φ 80, φ 90 u. s. w. erhält man dadurch, daß man die in dieser Tafel angegebenen Zahlen zu so vielen arithmetischen Mitteln vereinigt, als man Punkte über 70° hinaus zu bestimmen hat, und aus diesen für die runden Zahlen der Scale interpolirt. Es sind die zusammen verbundenen durch Striche getrennt, und auf diese Weise erhalten wir:

$\varphi\ 66,77 = +\ 0,11 \qquad \varphi\ 155,87 = -\ 0,24$
$\varphi\ 79,93 = +\ 0,22 \qquad \varphi\ 166,41 = -\ 0,19$
$\varphi\ 90,32 = +\ 0,19 \qquad \varphi\ 176,79 = -\ 0,09$
$\varphi\ 101,70 = +\ 0,11 \qquad \varphi\ 186,95 = +\ 0,06$
$\varphi\ 113,80 = -\ 0,10 \qquad \varphi\ 197,11 = +\ 0,18$
$\varphi\ 123,79 = -\ 0,12 \qquad \varphi\ 207,20 = +\ 0,25$
$\varphi\ 134,46 = -\ 0,17 \qquad \varphi\ 217,41 = +\ 0,11$
$\varphi\ 145,24 = -\ 0,23 \qquad \varphi\ 227,49 = +\ 0,02$

woraus sich durch Interpolation ergiebt:

$\varphi\ 80 = +\ 0,22 \qquad \varphi\ 160 = -\ 0,22$
$\varphi\ 90 = +\ 0,19 \qquad \varphi\ 170 = -\ 0,16$
$\varphi\ 100 = +\ 0,12 \qquad \varphi\ 180 = -\ 0,04$
$\varphi\ 110 = -\ 0,04 \qquad \varphi\ 190 = +\ 0,10$
$\varphi\ 120 = -\ 0,11 \qquad \varphi\ 200 = +\ 0,21$
$\varphi\ 130 = -\ 0,15 \qquad \varphi\ 210 = +\ 0,24$
$\varphi\ 140 = -\ 0,20 \qquad \varphi\ 220 = +\ 0,09$
$\varphi\ 150 = -\ 0\ 23 \qquad \varphi\ 230 = \ \ 0,00$

Endlich bestimmt man hieraus und aus den bekannten Fadenlängen die beiden untersten Punkte der Scale, nämlich:

$$\varphi\ (-\ 40) = -\ 7,47^{\circ},\quad \varphi\ (-\ 30) = -\ 6,75^{\circ}.$$

Stellt man alle gefundenen Verbesserungen zusammen, so hat man damit das Resultat der ersten Annäherung:

$\varphi\ (-\ 40) = -\ 7,47^{\circ} \qquad \varphi\ (10) = -\ 5,11^{\circ}$
$\varphi\ (-\ 30) = -\ 6,75 \qquad \varphi\ (\ 0) = -\ 4,36$
$\varphi\ (-\ 20) = -\ 5,98 \qquad \varphi\ (10) = -\ 3,60$

$\varphi\,(20) = -2{,}91^{\circ}$	$\varphi\,(130) = -0{,}15$
$\varphi\,(30) = -2{,}11$	$\varphi\,(140) = -0{,}20$
$\varphi\,(40) = -1{,}38$	$\varphi\,(150) = -0{,}23$
$\varphi\,(50) = -0{,}65$	$\varphi\,(160) = -0{,}22$
$\varphi\,(60) = -0{,}18$	$\varphi\,(170) = -0{,}16$
$\varphi\,(70) = +0{,}14$	$\varphi\,(180) = -0{,}04$
$\varphi\,(80) = +0{,}22$	$\varphi\,(190) = +0{,}10$
$\varphi\,(90) = +0{,}19$	$\varphi\,(200) = +0{,}21$
$\varphi\,(100) = +0{,}12$	$\varphi\,(210) = +0{,}24$
$\varphi\,(110) = -0{,}04$	$\varphi\,(220) = +0{,}09$
$\varphi\,(120) = -0{,}11$	$\varphi\,(230) = 0{,}00$

Wir bemerken hierbei noch, daß man φ 80, φ 90 . . . . (130), welche hier nur durch die oberen Enden der Fäden bestimmt worden sind, auch durch die unteren bestimmen kann, wodurch der Einfluß der Beobachtungsfehler verkleinert wird. Bei der ersten Annäherung ist dieser aber unwesentlich, und es ist immer hinreichend, wenn man diese Vermehrung der Sicherheit bei der zweiten anwendet.

Sobald die erste Annäherung gemacht ist, setzt man die daraus hervorgehenden Verbesserungen aller Zahlen der Tafel I hinzu, wodurch man eine neue Angabe der Beobachtungen, nämlich auf die näherungsweise verbesserte Scale bezogen, erhält. Mit dieser veränderten Tafel verfährt man genau so, wie vorher mit der ursprünglichen, weshalb es auch hinreichend sein wird, hier nur die Resultate anzugeben.

Diese sind zuerst:

$\varphi\,(-20) = 0{,}00$	$\varphi\,(30) = -0{,}04$
$\varphi\,(-10) = +0{,}01$	$\varphi\,(40) = +0{,}03$
$\varphi\,(0) = +0{,}01$	$\varphi\,(50) = +0{,}02$
$\varphi\,(+10) = -0{,}03$	$\varphi\,(60) = +0{,}04$
$\varphi\,(20) = +0{,}03$	$\varphi\,(70) = +0{,}06$

Dann folgen die Verbesserungen der Fäden und diese selbst:

	I = 159,60
f (2) = 0,00;	II = 149 14
f (3) = — 0 01;	III = 140,60
f (4) = — 0,04;	IV = 130,24
f (5) = — 0,04;	V = 115,20
f (6) = — 0,02;	VI = 105,50
f (7) = — 0,01;	VII = 93.14
f (8) = — 0,04;	VIII = 76,42

Hieraus ergeben sich die Verbesserungen für die Punkte über 70° hinaus:

φ (80°) = — 0,03	φ (160) = — 0,04
φ (90) = — 0.01	φ (170) = — 0,06
φ (100) = — 0,02	φ (180) = — 0,05
φ (110) = — 0,05	φ (190) = — 0,01
φ (120) = — 0,03	φ (200) = — 0,01
φ (130) = — 0,02	φ (210) = — 0,02
φ (140) = — 0,02	φ (220) = — 0,04
φ (150) = — 0,03	φ (230) = 0,00

und endlich die Verbesserungen für die beiden unteren Punkte:

$$\varphi\,(-40) = +\ 0{,}01$$
$$\varphi\,(-30) = +\ 0{,}01$$

Bestimmt man noch, nach der Bemerkung am Ende des 7. Art., φ (80), φ (90) . . . . φ (130) durch die unteren Enden der Fäden, so erhält man

φ (80) = — 0,01	7.	Beobachtung.
φ (90) = + 0,04	6.	„
φ (100) = — 0,02	5.	„
φ (110) = — 0 02	4.	„
φ (120) = — 0,10	3.	„
φ (130) = + 0,05	2.	„

und wenn man aus dieser und der vorigen Bestimmung das Mittel, mit Rücksicht auf die jeder derselben zum Grunde liegende Anzahl der Fäden nimmt, und dieses

der ersten Annährung hinzusetzt, so erhält man als Resultat der zweiten Annährung:

$\varphi(-40^0) = -7{,}46^0$	$\varphi(100) = +0{,}10^0$
$\varphi(-30) = -6{,}74$	$\varphi(110) = -0{,}08$
$\varphi(-20) = -5{,}98$	$\varphi(120) = -0{,}16$
$\varphi(-10) = -5{,}10$	$\varphi(130) = -0{,}16$
$\varphi(0) = -4{,}35$	$\varphi(140) = -0{,}22$
$\varphi(10) = -3{,}63$	$\varphi(150) = -0{,}26$
$\varphi(20) = -2{,}88$	$\varphi(160) = -0{,}26$
$\varphi(30) = -2{,}15$	$\varphi(170) = -0{,}22$
$\varphi(40) = -1{,}41$	$\varphi(180) = -0{,}09$
$\varphi(50) = -0{,}63$	$\varphi(190) = +0{,}09$
$\varphi(60) = -0{,}14$	$\varphi(200) = +0{,}20$
$\varphi(70) = +0{,}20$	$\varphi(210) = +0{,}22$
$\varphi(80) = +0{,}20$	$\varphi(220) = +0{,}05$
$\varphi(90) = +0{,}20$	$\varphi(330) = 0{,}00$

Diese Zahlen sind so wenig von den aus der ersten Annäherung gefolgerten verschieden, daß es ganz unnöthig sein würde, eine dritte zu suchen; man hätte es sogar ohne großen Nachtheil bei der ersten bewenden lassen können, indem die Verbesserungen, welche die zweite ergeben hat, kleiner sind als die unvermeidlichen Ablesungsfehler. Um sich nach vollendeter Bestimmung der Verbesserungen von dem Erfolge der Untersuchung zu überzeugen, muß man die unmittelbaren Ablesungen durch die Angaben der Tafel verbessern, die Fadenlängen im Mittel aus allen Beobachtungen bestimmen und hiermit den Fehler jeder einzelnen Beobachtung suchen.

Für das hier gegebene Beispiel finden sich diese Fehler:

Tafel III.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
— 0,08	+ 0,04	— 0,05	+ 0,12	+ 0,07	— 0,03	+ 0,03	— 0,05
0,00	+ 0,07	— 0,02	— 0,03	— 0,03	+ 0,05	+ 0,02	— 0,09
0,00	— 0,04	+ 0,13	— 0,05	+ 0,05	0,00	+ 0,03	0,00
+ 0,03	+ 0,01	+ 0,10	+ 0,06	+ 0,05	— 0,03	+ 0,10	— 0.03
+ 0,06	+ 0,05	— 0,07	— 0,05	— 0,02	— 0,05	+ 0,01	— 0,10
— 0,04	+ 0,03	+ 0,01	+ 0,04	— 0,08	— 0,05	— 0,03	— 0,04
+ 0,11	— 0,05	+ 0,05	— 0,01	— 0,09	— 0,01	— 0,09	— 0,03
+ 0,02	— 0,03	+ 0,05	— 0,10	— 0,07	+ 0,06	+ 0,11	+ 0,01
+ 0,02	+ 0,05	— 0,03	0,00	— 0,05	— 0,06	+ 0,05	+ 0,03
— 0,02	— 0,02	0,00	0,00	— 0,02	— 0,06	+ 0,08	+ 0,04
— 0,03	— 0,09	0,00	+ 0,02	0,00	— 0,06	+ 0,02	— 0,02
— 0,05	0,00	— 0,11	+ 0,01	— 0,13	+ 0,09	— 0,06	+ 0,03
	+ 0,04	+ 0,07	— 0,12	+ 0,08	+ 0,04	— 0,06	— 0,04
		— 0,07	+ 0,09	+ 0,08	+ 0,10	— 0,02	— 0,07
			— 0,04	+ 0,01	0,00	+ 0,01	— 0,11
				+ 0,08	0,00	— 0,06	+ 0,13
					— 0,02	— 0,03	+ 0,03
							+ 0,20

Diese Fehler sind, mit einiger Ausnahme des letzten, bei welchem ein zufälliger Irrthum vorgefallen sein muß, in den Gränzen derjenigen, welche man bei der Ablesung des oberen und bei der Stellung des unteren Fadenendes auf einen Theilstrich begehen kann; sie zeigen daher den vollständigen Erfolg der Untersuchung.

Um das Thermometer nun in Beziehung auf die festen Punkte zu berichtigen, wurde der Siedepunkt durch den von Cavendish empfohlenen Apparat bestimmt, und (für die Barometerhöhe = 0,76 Met.) 220,9° der Scale entsprechend gefunden; der Eispunkt fand sich bei 31,8°. Man hat daher, nach der Tafel der Verbesserungen

$$s + \varphi s = 210{,}94$$
$$e + \varphi e = 29{,}78$$

und, nach der Formel im 2. Art., den dem Punkte x der Scale entsprechenden wahren Fahrenheit'schen Grad

$$t = 32 + 180 \cdot \frac{x + \varphi x - 29{,}78}{191{,}16}$$
$$= 3{,}959^\circ + 0{,}94162\,(x + \varphi x)$$

oder die Verbesserung, welche man dem Punkte x hinzufügen muß, um die wahre Temperatur zu erhalten

$$t - x = 3{,}959^\circ - 0{,}05838 \cdot x + 0{,}094162\,\varphi x,$$

aus welcher Formel folgende Verbesserungstafel des Thermometers hervorgeht.

Scale	f — x	Scale	f — x
— 40°	— 0,73°	90°	— 1,10°
— 30	— 0,64	100	— 1,78
— 20	— 0,50	110	— 2,54
— 10	— 0,26	120	— 3,20
0	— 0,14	130	— 3,79
+ 10	— 0,04	140	— 4,43
20	+ 0,08	150	— 5,05
30	+ 0,18	160	— 5,63
40	+ 0,30	170	— 6,18
50	+ 0,45	180	— 6,64
60	+ 0,34	190	— 7,05
70	+ 0,07	200	— 7,52
80	— 0,52	210	— 8,09
90	— 1,10	220	— 8,84

Es ist nun noch übrig, daß wir zeigen, wie man eine sehr schnelle Convergens der Rechnung zur Wahrheit in allen Fällen erhalten kann. Dieselbe findet sich ohne weitere Vorbereitung, wenn wenigstens eine Hälfte des Thermometers nur Unregelmäßigkeiten, nicht progressiv fortgehende bedeutende Verlängerungen oder Verkürzungen der Fadenlängen zeigt; es ist nämlich dann hinreichend, daß man den Anfang der Rechnung mit dieser Hälfte mache, und also nicht zuerst durch die obere die untere bestimme, wie in dem gegebenen Beispiele, sondern umgekehrt durch die untere die obere; wenn in der ersteren die Fäden sich weniger stark progressiv verändern. In diesem Falle ist es leichter für die Rechnung, wenn man nicht die unteren, sondern die oberen Enden der Fäden, auf runde Zahlen der Scale stellt; wobei wir bemerken, daß es in jedem Falle nicht ohne Vortheil ist, eine doppelte Beobachtungsreihe zu machen, bei welcher man einmal von den unteren runden Zahlen, das andere Mal von den oberen ausgeht.

Findet sich aber weder die untere noch die obere Hälfte der Röhre der Scale einigermaßen entsprechend, und erleiden die Fadenlängen große progressive Aende-

rungen, so besteht das Mittel, welches man anwenden muß, um dennoch eine schnelle Annäherung der Rechnung zu erhalten, darin, daß man die Punkte der Scale vorläufig so corrigirt, daß das Progressive der Veränderungen verkleinert oder vernichtet wird; man gründet dann die erste Annäherung nicht auf die unmittelbaren Ablesungen, sondern auf die corrigirten. Die Correctionen aber dürfen in jedem Falle nur beiläufig bekannt sein, und man muß bei ihrer Festsetzung nur vermeiden, sie so unregelmäßig fortschreiten zu lassen, daß daraus eine Schwierigkeit in der Interpolation, für Punkte, welche nicht auf runde Zahlen der Scale fallen, entsteht.

Man kann diese vorläufige Correction der Scale auf mehr als eine Art erlangen; die leichteste scheint zu sein, daß man einen sehr kurzen Faden, z. B. von etwa 30° Länge, abtrennt, denselben mit seinem einen Ende Ende auf den höchsten Punkt der Scale bringt, und den Ort a der Scale, welcher dem anderen Ende entspricht, anmerkt; dann mit dem oberen Ende auf a, und dem unteren auf einen neuen Punkt a', u. s. w. bis er etwa die Hälfte der Scale oder mehr durchlaufen hat. Nimmt man die Länge dieses Fadens willkürlich, etwa so, wie eine der Beobachtungen sie giebt, so erhält man φ a, φ a', φ a'' . . . . und hieraus interpolirt man für die runden Zahlen der Scale vom oberen Ende bis etwa zu der Mitte derselben. Die hieraus hervorgehenden vorläufigen Verbesserungen der Beobachtungen werden hinreichen, der späteren Rechnung eine sehr schnelle Annäherung zu geben.

Wir können nicht umhin, nun die Berechnungen über die Correction des Quecksilberthermometers als vollständig erscheinen zu lassen, noch die von August in Berlin (²) aufgestellten Reductionsformeln folgen zu lassen, die bei hohen Temperaturgraden ihre volle Berücksichtigung finden müssen, wenn das Beobachtete zu genauen Resultaten führen soll.

§. 11.
August's Reductionsformeln für das Quecksilber-Thermometer bei hohen Wärmegraden.

Ein Hauptvorzug des Quecksilberthermometers vor den meisten übrigen besteht bekanntlich darin, daß die Anzeigen desselben innerhalb der Temperaturen von — 25° bis + 100° C. der wirklichen Wärmezunahme so genau proportional sind, daß bis jetzt die sorgfältigsten Versuche darüber auf keine Verschiedenheit geführt haben. Je mehr sich aber das Quecksilber auf der einen Seite dem Gefrieren, auf der andern dem Sieden nähert, desto mehr weichen die Anzeigen desselben von denen eines Luftthermometers ab, dem man mit Recht die vollkommenste Uebereinstimmung mit der Wärmeveränderung zuschreibt. Wir müssen daher sowohl in den Temperaturen unter — 25° als in denen über + 100° C. die Anzeigen des Quecksilberthermometers jederzeit erst auf das Luftthermometer reduciren, wenn wir die durch das erstere angedeutete wahre Wärmeänderung irgend wo in Rechnung bringen wollen. Die ersten beiden Spalten der folgenden Tabelle enthalten die angegebenen Vergleichungen nach dem hundertheiligen Thermometer; wobei, wie ausdrücklich bemerkt wird, die Ausdehnung des Glases schon berücksichtigt ist.

A Quecksilberthermometer.	B. Luftthermometer.	Unterschied beider A — B.	Differenz der Unterschiede.	Zweite Differenz derselben.
100	100	0		
150	148,70	1,30	1,30	
200	197,05	2,95	1,65	0,35
250	245,05	4,95	2,00	0,35
300	292,70	7,30	2,35	0,35
360	350,00	10,00		

Nimmt man die ersten fünf Beobachtungen und die damit bereits vorgenommenen Reductionen in Beziehung auf die Ausdehnung des Glases als vollkommen richtig an, so ist die Aufstellung einer Formel für das Gesetz, dem die Unterschiede beider, welche die dritte Spalte der Tabelle angiebt, zu folgen scheinen, nicht schwer zu entdecken. Man bemerke nur, daß die in der fünften Spalte aufgeführten zweiten Differenzen dieser Unterschiede vollkommen gleich sind; daß also die Zahlen der dritten Spalte, d. h. diese Unterschiede selbst, eine arithmetische Reihe zweiter Ordnung bilden.

Nimmt man nun dasselbe Gesetz auch für die dazwischenliegenden Temperaturen an, so findet man durch Einschaltung von je 49 Gliedern einer arithmetischen Reihe zweiter Ordnung zwischen zwei Zahlen dieser Spalte diejenigen Unterschiede, welche sich auf die einzelnen Grade beziehen. Die Interpolirung selbst führt auf folgende Formel

$$\delta = \frac{1}{4} (0{,}09\ \tau + 0{,}00028\ \tau^2).$$

Wenn τ die Anzahl über 100° nach dem Centesimal-Quecksilberthermometer, und δ den Unterschied der Quecksilbergrade von den wirklichen Wärmegraden anzeigt.

Nennen wir daher die wirklichen Wärmegrade w, die Unterschiedsgrade q und behalten den Werth $\tau' = q - 100$ bei, so ist für das Centesimalthermometer

$$w = q - \frac{1}{4}\,\tau\,(0{,}09 + 0{,}00028\,\tau).$$

Für Réaumur'sche Grade, wo $w' = q' - 80$ wird, geht die Formel in folgende über:

$$w' = q' - \frac{1}{4}\,\tau'\,(0{,}09 + 0{,}00035\,\tau).$$

Daß diese Formel nicht absolut richtig sein kann, geht schon daraus hervor, daß sie ihre ganze Bedeutung verliert, sobald $\tau = q - 100$ einen negativen Werth hat, d. h. wenn q unter 100 Grad ist. Daß sie aber innerhalb der Grenzen dieser Versuche eine große Annäherung geben müsse, ist daraus deutlich, daß sie in den fünf angegebenen Fällen auf eine vollkommene Uebereinstimmung des Versuches mit der Rechnung führt. Ob sie auch über 300° C. hinaus, wo das Quecksilber bald seinen freien Siedepunkt erreicht, eben so genau sein wird, wie zwischen 100° und 300° kann bezweifelt werden.

Die Rechnung für die letzten der hier mitgetheilten Beobachtungen hat eine Abweichung. Wir erhalten nämlich nach der Formel für 360° $\delta = 10{,}582$, wo der Vergleich nur $\delta = 10$ giebt. Indessen ist auch unter Voraussetzung absoluter Genauigkeit der Beobachtung, die über dem Siedepunkt des Quecksilbers allerdings problematisch wird, diese Abweichung eines halben Grades für einen Abstand von 60° so unbedeutend, daß wir dadurch an dem Gebrauch der Formel auch über 300° C. hinaus bis beinahe an den Siedepunkt des Quecksilbers nicht gehindert werden.

Bezeichnet also q die Grade eines Quecksilberthermometers, das zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte n Grade und am Siedepunkt selbst s Grade zählt und versteht man unter Cal q die Grade der wahren Wärmezunahme, welche dem Stande des Quecksilberthermometers entsprechen, so ist ganz allgemein

$$\mathrm{Cal}\,q = q - \frac{1}{4}(q - s)\left(0{,}09 - 0{,}028\,\frac{q - s}{n}\right).$$

§. 12.

Die Scaleneinrichtung bei Thermometern und Barometern.

Wilhelm Weber: Ueber Barometer- und Thermometerscalen vorgetragen in der Versammlung der deutschen Naturforscher in Jena; auch Pogg. Ann. 40 p. 27.

Von großer Wichtigkeit für die Beobachtung ist natürlich die genaue Scaleneintheilung und mit ihr die richtige Einrichtung des Auges auf den betreffenden Theilstrich. — Wilhelm Weber hat uns mit seiner ihm eigenen Klarheit und Genauigkeit hierüber Mittheilungen gemacht, die wir hier der Hauptsache nach folgen lassen. Instrumente, mit denen man für jeden beliebigen Augenblick ein bestimmtes Resultat erhalten zu können wünscht, wie es der Fall ist mit denjenigen Instrumenten, welche zur Beobachtung des Zustandes der atmosphärischen Luft bestimmt sind, entsprechen der Bequemlichkeit des Beobachters und ihrem Zwecke am besten, wenn sie so eingerichtet sind, daß es nicht nöthig ist, um ein Resultat zu gewinnen, einen zeitraubenden Versuch anzustellen, oder irgend etwas an dem Instrumente jeder einzelnen Beobachtung wegen verrücken oder einstellen zu müssen, sondern so, daß das Resultat durch bloße Ansicht des Instruments gewonnen werden kann. Diesen Vorzug besitzt das Thermometer, weil die Grade immer so groß, die Unterabtheilungen der Scale so klein gemacht werden können, daß es bei der Beobachtung ausreicht, nach der bloßen Ansicht die Zehntel der kleinsten Unterabtheilungen zu schätzen. Derselbe Vorzug zeichnet auch das August'sche Psychrometer vor dem Daniel'schen Hygrometer aus.

Auch das Barometer theilt diesen Vorzug, wenn man sich auf eine mäßige Genauigkeit der Beobachtungen beschränken darf und in der Schätzung der Unterabtheilungen geübt ist. Es ist aber bekannt, daß man

in der Regel mit dieser Genauigkeit sich nicht begnügen mag, und daß man, um der größeren Feinheit und Sicherheit in den kleineren Unterabtheilungen willen, einen Vernier an der Barometerscale anbringt, den man verrücken und verschieben muß, bis er die für die Beobachtungen richtige Stellung erhalten hat. Während dieser Stellung des Verniers kann man nicht genau beobachten, wegen der dadurch verursachten Erschütterung des Instruments, wenigstens dann nicht, wenn die Röhre weit ist, worin sich das Quecksilber leicht bewegt, und wenn das Instrument nicht mehr fest aufgestellt ist. Man muß daher wiederholte Versuche machen, bis man die rechte Stellung des Verniers trifft. Es giebt aber ein einfaches Mittel, dem Barometer denselben Vorzug zu verschaffen, den das Thermometer und Psychrometer besitzt. Man wählt nämlich einen Streifen von dickem Spiegelglase zur Barometerscale, und foliirt diesen auf der einen Seite seiner ganzen Länge und halben Breite nach, so, daß er in zwei lange schmale Streifen zerfällt, von denen der eine einen Spiegel bildet, der andere durchsichtig ist. Auf der andern Seite, der Grenze des Spiegels und des durchsichtigen Glases gegenüber; wird mit dem Diamanten auf der Glasoberfläche die Scale aufgetragen, so, daß alle Theilstriche zur Hälfte auf der durchsichtigen, zur Hälfte auf der undurchsichtigen Seite liegen. Man stellt nun das Auge so vor diese Scale, daß, während man durch den durchsichtigen Streifen die Quecksilberkuppe des Barometers erblickt, dicht daneben im Spiegel das Bild des Auges erscheint. Alsdann hat das Auge die richtige Stellung, so, daß es perpendiculär gegen die Scale bleibt und, weil letztere vertical steht, in gleichem Niveau mit der Quecksilberkuppe ist.

Im Allgemeinen wird man alsdann die Quecksilberkuppe zwischen zwei Theilstrichen der Scale erblicken, und es kommt nur darauf an, den Bruchtheil zu bestimmen, um welchen die Quecksilberkuppe über dem einen oder unter dem andern Theilstriche steht. Zu die-

sem Zwecke beobachtet man außer den Scalentheilen auf der näheren Glasoberfläche das entferntere Bild, was von ihnen hinter dem Spiegel erscheint. Die Theile der wirklichen Scale, mit einander verglichen, gewähren dem Auge denselben Anblick, wie die Theile eines Maßstabes, verglichen mit den Theilen seines Verniers. Weil nämlich die Theile der gespiegelten Scale an sich zwar ebenso groß sind, wie die Theile der wirklichen Scale, vom Auge aber entfernter liegen, so erscheinen sie dem Auge kleiner, und es ist leicht, das Auge den Scalen so weit zu nähern oder zu entfernen, daß z. B. 21 Theile der Scale 22 Theile des Bildes immer decken, wie hoch oder niedrig auch das Auge sich befinden mag, woraus dann hervorgeht, daß das Auge immer in gleicher Entfernung von der Scale geblieben sei, nämlich 21 mal weiter als das Bild von der Scale. In Fig. 2 Taf. II, wo MM die Scale, NN ihr Bild darstellt, decken, von O ausgesehen, 24 — 3 = 21 Scalentheile 24 — 2 = 22 Theile des Scalenbildes, woraus sich ergiebt, daß O und O' gleichweit von der Scale entfernt sind, nämlich 21 mal weiter als das Scalenbild von der Scale, vorausgesetzt, daß das Spiegelglas durchaus gleich dick ist.

Außer diesem ersten Vortheile, den die Beobachtung des Scalenbildes gewährt, daß man das Auge immer in gleicher Entfernung von der Scale halten kann, gewährt sie noch den zweiten Vortheil, daß man die Höhe des Auges und jede verticale Verrückung desselben messen kann, wozu blos nöthig ist, diejenige Stelle der Scale zu beachten, wo der Theilstrich der Scale mit seinem Bilde zusammenfällt. Wenn z. B. in Fig. 2, Taf. II. das Auge in O ist, scheint ihm der 24. Theilstrich der Scale mit seinem Bilde zusammenzufallen; wenn das Auge in O' scheint ihm der 35. Theilstrich der Scale mit seinem Bilde zusammenzufallen, woraus sich ergiebt, daß O' 35 — 24 = 11 Scalentheile höher wie O liegt, vorausgesetzt, daß die Scale und der Spiegel durchaus vertical sind.

Diese beiden Vortheile, daß man das Auge immer in gleicher Entfernung von der Scale halten und jede mit der Scale parallele Verrückung des Auges messen kann, lassen sich nun benutzen, um blos durch die Ansicht des Instruments den Bruchtheil des Scalentheils zu erfahren, um welchen die Quecksilberkuppe, die zwischen zwei Scalentheile fällt, höher als der eine, oder tiefer als der andere liegt.

Es versteht sich übrigens von selbst, daß der nämliche Zweck durch die nämlichen Mittel überall erreicht werden könne, wo die Endpunkte des zu messenden Gegenstandes, wie beim Barometer, nahe hinter dem Maßstabe liegen.

Wir wollen das dazu anzuwendende Verfahren für drei verschiedene Fälle betrachten, nämlich, für den Fall, wo der zu messende Gegenstand an seinem Ende

1) eine scharfe Spitze oder Kante,

2) eine kleine Kugelfläche,

3) eine kleine Ebene mit convex gebogenem Rande

darbietet. Der erste Fall findet bei einem Thermometer statt, dessen Quecksilberfaden so fein ist, daß sein Ende wie ein bloßer Punkt erscheint. Die beiden letzten Fälle kommen bei Barometern vor, je nachdem die Röhre enger oder weiter ist.

Der zu messende Gegenstand biete an seinem Ende eine scharfe Spitze oder Kante dar.

Fig. 2, Taf. II. A sei die zu messende Spitze. Man senke das Auge so weit (bis 0) herab, bis es durch den durchsichtigen Theil des Glases die Spitze A gerade hinter demjenigen Theilstriche der Scale erblickt, der, als das Auge in gleichem Niveau mit der Quecksilberkuppe sich befand, zunächst darunter lag (Fig. 2, Taf. II. hinter dem 30. Theilstriche). Von hier aus (von 0 aus) beobachtet man am Spiegel denjenigen Theilstrich der Scale, welcher mit seinem Bilde zusammenfällt (Fig. 2, Taf. II. der 24. Theilstrich). Sodann hebt man das Auge so hoch (bis 0′), daß durch den durchsichtigen Theil der Scale die Quecksilberkuppe gerade hinter demjenigen

Theilstrich erscheint, der, als das Auge in gleichem Niveau mit der Quecksilberkuppe war, etwas höher lag (Fig. 2, Taf. II. der 31 Theilstrich), und bemerkt dann von hier aus am Spiegel denjenigen Theilstrich, der mit seinem Spiegelbilde zusammenfällt (Fig. 2. Taf. II der 35. Theilstrich). Aus diesen beiden Beobachtungen wird der gesuchte Bruchtheil gefunden. Fällt nämlich die Spitze A zwischen dem k ten und (k + l) ten Theilstrich der Scale, liegt ferner O mit dem (k — m) ten und O' mit dem (k + n + 1 — m) ten Theilstrich in gleicher Höhe, so liegt die Spitze A

$$\left(k + \frac{m}{n}\right)$$

Scalentheile hoch; denn es verhält sich der Höhenunterschied der Spitze A, und des k ten Theilstrichs (wenn a den Abstand der Spitze A, b den Abstand des Auges O oder O' von der Scale bezeichnet) zu $m = a : b$, oder ist:

$$= \frac{a}{b} m,$$

$a : a + b$ verhält sich aber wie $1 : OO' = 1 : n + 1$; folglich ist:

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{n},$$

woraus sich ergiebt, daß die Spitze A um $\left(\frac{m}{n}\right)$ Skalentheile höher als der k te Skalentheil ist. In Fig. 2, Taf. II. ist $k = 30$, $m = 6$, $n = 10$; folglich liegt die Spitze A $(30 + \frac{6}{10})$ Scalentheile hoch.

Man sieht, daß man auf diese Art durch bloße Ansicht des Instruments zu demselben Resultate gelangt, wie durch die Anwendung eines Verniers von n Unterabtheilungen, und dabei hat der Beobachter den Vortheil, daß er sich nach Belieben den Vernier schaffen kann, entweder mit vielen oder mit wenigen Unterabtheilungen, weil die Zahl n der Unterabtheilungen von der Entfernung des Auges von der Scale abhängt.

Die Messung kann noch etwas erleichtert werden, wenn die Scale und der Spiegel so eingerichtet werden, daß die Spitze A im Spiegelbilde der Scale selbst liegt, weil dann n Scalentheile gerade (n+1) Theile des Scalenbildes decken, die Zahl n folglich ohne Verrückung des Auges durch bloße Vergleichung der Scale mit ihrem Bilde erhalten wird. Eine Scale mit dieser Vereinfachung würde sich besonders für einen Thermometer eignen.

Der zu messende Gegenstand bietet an seinem Ende eine kleine Kugelfläche dar.

Das Quecksilber in der Barometerröhre ist von einer convexen Fläche begränzt, die, wenn die Röhre nicht sehr weit ist, als eine Kugelfläche betrachtet werden darf. Weil man bei einer solchen Begränzung des zu messenden Gegenstandes, sobald man das Auge hebt oder senkt, nicht mehr nach der horizontalen Tangente jener Kugelfläche visirt, und auch nicht nach dem wahren Endpunkte der Säule, so muß der vorhin ermittelte Bruchtheil $\frac{m}{n}$ eine Correction erleiden, die desto größer ist, je größer der Kugelhalbmesser, und je kleiner der Abstand der Quecksilberkuppe von der Scale ist. Von dieser Correction kann man ferner beweisen, daß sie verschwindet, sowohl wenn $\frac{m}{n} = 0$, als auch wenn $\frac{m}{n} = 1$ ist. Denn $\frac{m}{n}$ ist nur dann gleich 0, wenn $m = 0$ ist, d. i. wenn das Auge gar nicht unter den kten Theilstrich der Scale gesenkt werden darf, um letztere gerade hinter dem kten Theilstriche zu erblicken, mit anderen Worten, wenn die Quecksilberkuppe mit dem kten Theilstriche selbst gleich hoch ist. Es leuchtet von selbst ein, daß in diesem Falle zu $\frac{m}{n}$ keine Correction kommen

darf. Ebenso, wenn $1 - \frac{m}{n} = 0$, oder $m = n$ ist, d. i. wenn das Auge um n Scalentheile unter die kten Scalentheile gesenkt werden muß, um die Quecksilberkuppe gerade dahinter zu erblicken, wo alsdann das Auge mit dem $(k - m)$ ten Scalentheile gleich hoch ist, und von wo man das Auge (nach der frühern Bedeutung von n) um $(n + 1)$ Scalentheile nur zu heben braucht, um die Quecksilberkuppe gerade hinter dem $(k + 1)$ ten Scalentheile zu erblicken; denn dann befindet sich das Auge in gleicher Höhe mit dem $(k + 1)$ ten Scalentheile, und folglich auch die Quecksilberkuppe in gleicher Höhe mit dem $(k + 1)$ ten Scalentheile, woraus einleuchtet, daß auch in diesem Falle die Correction von $\frac{m}{n}$ verschwinden müsse.

Man folgert daraus, daß jene Correction von der Form sein müsse: $f\left(\frac{m}{n}\right)\left(1 - \frac{m}{n}\right)$, damit sie für $\frac{m}{n} = 0$ und für $(1 - \frac{m}{n}) = 0$ verschwinde. Zu diesem Resultate führt auch die genauere geometrische Betrachtung der Sache, welche ergiebt, daß der Factor f dem Kugeldurchmesser, dividirt durch das doppelte Quadrat des Abstandes der Quecksilberkuppe von der Scale (beides in Scalentheilen ausgedrückt), gleich ist.

Um den Factor f zu ermitteln, bedarf es nur einer dritten Beobachtung, wobei die Quecksilberkuppe hinter dem $(k - 1)$ ten Theilkreise erscheint. Bezeichnet man der Reihe nach die Zahl der Scalentheile, um welche das Auge tiefer als der kte oder höher als der $(k+1)$ te Scalentheil steht, mit m_1, m und $- m^1$, und betrachtet diese Größen als Werthe, welche einer variabeln x zu geben sind, damit ihre Function y der Reihe nach die Werthe $k - 1$, k und $k + 1$ erhalte; so hat man zur Bestimmung dieser Function folgende zusammengehörige Werthe x und y.

$$\begin{array}{l|l} y = k - 1 & x = m_1 \\ y = k & x = m \\ y = k + 1 & x = - m^1 \end{array}$$

Wählt man die Funktion von der Form:

$$y = a + b x + c x x,$$

so ergiebt sich aus obigen Werthen für a:

$$a = k + \frac{m}{n^1} + \left(\frac{m}{n} - \frac{m}{n_1}\right)\frac{n_1 + m}{n_1 + n},$$

worin n_1 und n für $m_1 - m^1$ und $m + m'$ gesetzt sind. Aus der Vergleichung der Bedeutung von x mit Fig. 2 Taf. II ergiebt sich nun, daß x die Tangente des Winkels der Visirlinie mit dem Horizonte ist für den Halbmesser n 0″ = b. Wird die Tangente dieses Winkels Null gesetzt, so ist y = a die Höhe der Quecksilberkuppe in Scalentheilen. Diesem Ausdrucke für die gesuchte Höhe kann man auch folgende Form geben: $a = k + \frac{m}{n} - \frac{n(n_1 - n)}{n_1(n_1 + n)} \cdot \frac{m}{n} \cdot \left(1 - \frac{m}{n}\right)$, woraus man wieder, wie oben, sieht, daß die dem Bruche $\frac{m}{n}$ nach Vertauschung der Spitze mit einer runden Fläche am Ende des zu messenden Körpers hinzuzufügende Correction den Bruch $\frac{m}{n}$ selbst und dessen Ergänzung zu 1 zum Factor hat. Die Ermittelung dieser Correction läßt sich endlich dazu benutzen, den Abstand der Scale von der Quecksilberkuppe (bei gegebener Krümmung der Quecksilberoberfläche) so einzurichten, daß jene Correction unmerklich wird und vernachlässigt werden kann. Soll daher jene Correction nie $\frac{1}{100}$ Scalentheil übersteigen, so darf der Factor $\frac{n(n_1 - n)}{n_1(n_1 + n)}$ nicht größer als $\frac{1}{25}$ sein, was erreicht wird, wenn der halbe Krümmungshalbmesser der

Quecksilberkuppe dem Quadrate des fünften Theils ihres Abstandes von der Scale gleich ist, beides in Scalentheilen ausgedrückt. Wendet man daher eine Millimeterscale an, und beträgt der Krümmungshalbmesser der Quecksilberkuppe 8 Millimeter, so muß der Abstand der Scale von der Quecksilberkuppe 10 Millimeter betragen. Alsdann kann man sich zur Berechnung der Höhe der Quecksilberkuppe derselben einfachen Regel bedienen, wie wenn das Ende des zu messenden Gegenstandes eine scharfe Spitze wäre, nämlich: $a = k + \frac{m}{n}$.

Der zu messende Gegenstand biete an seinem Ende eine kleine Ebene mit convex gebogenem Rande dar.

Betrachtet man endlich den letzten Fall, wo nämlich die Barometerröhre so weit ist, daß der mittelste Theil der Quecksilberoberfläche ganz eben ist, so findet man die Höhe dieser Ebene am bequemsten, wenn man das Auge nie über den Horizont der Quecksilberkuppe erhebt. Mit Beibehaltung der früheren Beziehung möge daher jetzt $k + 1$ derjenige Scalentheil sein, welcher zunächst unter dem Niveau der Quecksilberoberfläche liegt, und m' die Zahl der Scalentheile, um welche das Auge darunter gesenkt werden muß, damit die Quecksilberkuppe gerade dahinter erscheint, so ersieht man bei Wiederholung der früheren Rechnung, daß man blos das Vorzeichen von m' zu ändern braucht, und wird zu folgender Bestimmung für die Höhe der Quecksilberkuppe geführt:

$$a = k + \left(1 + \frac{m'}{n}\right) + \frac{n\,(n_1 - n)}{n_1\,(n_1 + n)};\ \left(1 + \frac{m'}{n}\right)\frac{m'}{n}.$$

Da es namentlich für den Practiker, sonst aber auch für jeden wissenschaftlichen Physiker, der genaue Thermometerbeobachtungen bei etwaigen Untersuchungen an-

zustellen hat, wichtig ist, genaue Apparate zu besitzen, so lassen wir eine von J. J. Pierre in Annales de chimie et de physique, Ser. III. Tom. V. pag. 427, ausführlich veröffentlichte Methode zur Anfertigung genauer Thermometer, wie Herr Regnault in seinen Vorlesungen am College de France auseinandersetzt, folgen. —

§. 13.

Regnault's Methode, genaue Thermometer practisch anzufertigen, mitgetheilt von J. J. Pierre.

Man beginnt damit, aus einer großen Zahl von Haarröhrchen, die keine sichtbaren Mängel, als Sandkörner, örtliche Unregelmäßigkeiten u. s. w. zeigen, solche auszuwählen, deren Kaliber möglichst nahe cylindrisch ist, wovon man sich, wie gewöhnlich, überzeugt, wenn man eine Quecksilbersäule darin entlang führt, und beobachtet, ob sie immer dieselbe Länge behalte. Die Röhren müssen überdieß inwendig sehr rein sein.

Wenn die Röhre von etwas weitem Kaliber ist, bringt man reine concentrirte Salpetersäure hinein und erhitzt dieselbe. Dadurch werden Staubtheilchen und fettige Substanzen zerstört, und wenn man nun mehrmals destillirtes Wasser in die Röhre bringt, sie vorsichtig trocknet, so erhält man sie vollkommen rein. Bei einer sehr capillaren Röhre ist diese Reinigung schwierig. In diese Röhre bringt man nun eine Quecksilbersäule von etwa 20 Millimeter Länge, und legt sie auf eine Theilmaschine, dergestalt, daß ihre Axe zusammenfällt mit der Axe des Gestells, welche bestimmt ist, ihr eine Rotationsbewegung um sich selbst zu geben. Ein Mikroskop (lunette) mit Fadenkreuz befestigt an dem Schlitten der Maschine, der das Reißerwerk trägt, erlaubt, die Lage der beiden Enden der Quecksilbersäule genau zu bestimmen. Nachdem man das Fadenkreuz auf das linke Ende der Säule gestellt und die Lage des Zeigers auf der festen Scale, auf welcher derselbe sich bewegt, aufgezeichnet hat,

dreht man die Schraube und führt dadurch das Mikroskop auf das rechte Ende der Säule. Die Anzahl von ganzen Schraubengängen und deren Bruchtheilen, welche man sorgfältig aufzeichnet, giebt die Länge der von der Quecksilbersäule eingenommenen Strecke. Durch eine umgekehrte Drehung der Schraube führt man nun das Mikroskop auf den Ausgangspunkt zurück, um zu sehen, ob sich nicht das linke Ende der Quecksilbersäule verschoben habe. Nach dieser Prüfung zieht man auf die Röhre mittels eines sehr feinen Pinsels einen Strich an jedem Ende des so bestimmten Intervalls. Es ist wichtig zu bemerken, daß es diese, sorgfältig auf ein Blatt Papier geschriebene Länge der Säule ist, welche zu unserer Kalibrirung dient. Die mit dem Pinsel auf die Röhre gezogenen Striche dienen nur dazu, zwei aufeinander folgende Intervalle leichter Ende an Ende zu stellen. Man läßt nun die Quecksilbersäule vorrücken, so daß ihr linkes Ende so genau wie möglich die Lage annimmt, welche zuvor ihr rechtes Ende einnahm, und man mißt wie zuvor mit der Schraube ein zweites Intervall von gleicher Capacität mit dem ersten, versichert sich, wie vorhin, der unveränderten Lage der Quecksilbersäule, und schreibt es mit derselben Sorgfalt auf. Nachdem man auf das rechte Ende der Säule abermals einen Strich mit dem Pinsel gezogen hat, läßt man diese wiederum vorrücken, bis ihr linkes Ende diesen neuen Strich erreicht, und so fährt man fort, eine Länge der Röhre, gleich der der Schraube, in Intervalle von gleicher Capacität zu theilen, dabei immer sich versichernd, ehe man das Resultat jeder partiellen Operation niederschreibt, daß das linke Ende der Quecksilbersäule sich nicht verrückt habe. Man schiebt nun die Röhre auf ihrer Unterlage entlang und führt die Schraube auf ihren Ausgangspunkt zurück. Nach Beendigung dieser Operation überzieht man die Röhre mit einer dünnen Schicht eines Gemisches von Kupferstecherfirniß und Wachs. Dieser Ueberzug, nachdem er auf der Röhre geschmolzen worden, ist so durchscheinend, daß er die zuvor mit dem

Pinsel gemachten Striche sehen läßt. Wir können nicht genug daran erinnern, daß die wahren Gränzen der Intervalle von gleicher Capacität, deren Längen sorgfältig aufgezeichnet wurden, durch die Verschiebungen des Mikroskops bestimmt sind, und daß die Pinselstriche nur dazu dienen, die Auffindung derselben im Laufe der Operationen zu erleichtern. Man regulirt nun sorfältig die Röhre auf ihrer drehbaren Unterlage und theilt jedes der vorhin bestimmten Intervalle mittels einer Stahlspitze, die als Reißer dient, in 30 gleiche Theile. Es ist wichtig, hier zu bemerken, daß derjenige Theil der Schraube, der zur Eintheilung eines jeden Intervalls benutzt wird, genau derselbe ist, der vorhin zur Bestimmung von dessen Länge gedient hat, und daß man demgemäß unabhängig ist von den Unregelmäßigkeiten der Schraube. Ist diese Eintheilung für die ganze Länge der Schraube beendigt und hat man auf dem Firniß mittels eines Stichels jede zehnte Abtheilung mit der gehörigen Zahl versehen, so setzt man die Röhre in einem kleinen Troge von Blei der Wirkung des Dampfes von Fluorwasserstoffsäure aus, mit der Vorsicht, das noch nicht eingetheilte Stück der Röhre sorgfältig vorher mit Firniß zu überziehen.

Man läßt den Dampf eine hinreichende Zeit auf die Röhre wirken, zwanzig Minuten, wenn die Striche ohne Fernrohr deutlich sichtbar sein sollen, dagegen nur zehn Minuten, wenn man sie mit einem Fernrohr beobachten will. Sie sind alsdann viel zarter. Die gasförmige Fluorwasserstoffsäure hat vor der flüssigen den Vortheil, daß sie äußerst feine Striche giebt, die mattweiß sind und dadurch sichtbar bleiben, trotz der ungemeinen Zartheit, die man ihnen lassen kann, wenn man sie mittels eines Fernrohrs ablesen will. Die flüssige Säure hingegen giebt fast immer polirte Striche, die nur gut sichtbar sind, wenn die Röhre stark geritzt ist. Diese Striche können zu Fehlern im Ablesen Anlaß geben, in Folge der Brechung, die durch ihre schiefen Flächen hin die vom Scheitel der Quecksilbersäule angehen-

den Strahlen erleiden. Dieß ist ein sehr großer Uebelstand, vor allem bei Stielen mit sehr gedrängter Theilung, wie sie Thermometer haben müssen, die sehr kurz sind und doch eine große Genauigkeit geben sollen. Sobald der graduirte Stiel länger ist, als die Schraube reicht, so überzieht man mit demselben Firniß ein zweites Stück der Röhre neben dem ersten, führt die Schraube auf ihren Ausgangspunkt zurück und befestigt abermals die Röhre auf ihrer horizontalen drehbaren Unterlage, so daß sie die nämliche Lage einnimmt, wie in dem zweiten Bereich der vorläufigen Operation des Kalibrirens. Hierauf, da das Mikroskop mittels seiner Stellschraube so ajustirt ist, daß das Fadenkreuz mit dem vom Reißer auf dem Firniß gemachten Strich zusammenfällt, braucht man nur dieß Kreuz auf den letzten bei der vorherigen Operation gemachten Strich einzustellen, um genau unter denselben Umständen zu sein, wie wenn man einen schon angefangenen Bereich weiter fortgesetzt hätte. Die Anschließung (raccordement) geschieht mit der größten Genauigkeit. Fügen wir noch hinzu, daß der Theil der Schraube, der zum Ziehen der Abtheilungen eines jeden Intervalls dienen soll, noch derselbe ist, welcher zur Bestimmung der Länge desselben bei der Kalibrirung des zweiten Bereichs gedient hat. Auf dieselbe Weise und mit denselben Vorsichtsmaßregeln setzt man diesen zweiten Bereich von Abtheilungen den sauren Dämpfen aus; und darauf schreitet man zur Eintheilung eines dritten Bereichs, wenn es nöthig ist.

Wenn die Schraube der Maschine vollkommen und die Röhre wenig unregelmäßig ist, so leuchtet ein, daß die eben beschriebene Eintheilungsmethode vollkommene Stiele liefert, d. h. Stiele, bei denen die ganze Länge der Röhre der Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Theilstrichen einem mathematisch constanten Volum entspricht. Eine Prüfung der mit allen diesen Vorsichtsmaßregeln getheilten Röhren zeigt, daß man mit ein wenig Uebung diesem Resultate sehr nahe kommen kann. Indeß um in dieser Beziehung nichts zu wünschen übrig

zu lassen, um die kleinen etwa vorkommenden Unvollkommenheiten aufzufinden und in Rechnung zu ziehen, ist es zweckmäßig, jede getheilte Röhre einer besondern Prüfung zu unterwerfen, und das mußte bei allen Thermometern gethan werden. P. bedient sich zu dieser Prüfung eines besonderen Apparates, der nach der Angabe Regnault's von Deleuil verfertigt worden ist. Dieser besteht aus zwei kleinen Mikroskopen (lunettes), jedes versehen mit einem Fadenkreuz, und verschiebbar parallel mit dem andern in einer horizontalen Metallnuthe, auf welcher die Axen beider senkrecht sind.

Diese beiden Mikroskope dienen dazu, die Enden der Quecksilbersäule, die man zum Behufe der Prüfung in den Stiel bringt, ohne Parallele bestimmen zu können. Nachdem man in den zu prüfenden Stiel eine Quecksilbersäule von willkürlicher Länge gebracht hat, legt man denselben horizontal auf eins der beiden Messinglineale, welche eine Nuthe bilden, und erhält ihn mittels kleiner Federn (brides à ressort) dieser Nuthe parallel. Man bringt das eine Ende der Quecksilbersäule auf den Nullpunkt der auf die Röhre gezogenen Graduirung, visirt mit einem der beweglichen Mikroskope darauf und verschiebt das andere Mikroskop in der Nuthe, bei der das Fadenkreuz mit dem andern Ende der Quecksilbersäule zusammenfällt. Nachdem man sich durch das erste Mikroskop versichert hat, daß das erste Ende der Quecksilbersäule, welche das linke sein mag, noch auf dem Nullpunkt der Theilung steht, zeichnet man sorgfältig die Abtheilung und ihre Bruchtheile auf, welche dem rechten Ende entsprechen. Dadurch, daß man die Röhre neigt und ihr kleine Stöße giebt, führt man das linke Ende der Quecksilbersäule in eine neue Lage, z. B. auf die zehnte Abtheilung, und versichert sich davon mit dem linken Mikroskop, welches man zu dem Ende verschiebt; man verschiebt das rechte Mikroskop, bis es genau bis auf das rechte Ende der Quecksilbersäule visirt, und nachdem man sich überzeugt, daß das linke Ende dieser Säule noch genau mit der zehn-

ten Abtheilung coincidirt, schreibt man auf, welche Abtheilung und Bruchtheil derselben dem andern Ende entspricht. Hierauf läßt man die Quecksilbersäule fortgleiten, bis ihr linkes Ende mit der zwanzigsten Abtheilung zusammenfällt u. s. w., und so fährt man fort, bis die Säule die ganze getheilte Länge des Stiels durchlaufen hat. Statt diese Säule auf einmal eine Länge von zehn Abtheilungen zu verschieben, kann man sie offenbar bei jeder einzelnen Operation eine weniger große Zahl von Abtheilungen, z. B. fünf, durchlaufen lassen. Wenn man indeß die Stiele mit großer Sorgfalt ausgewählt und kalibrirt hat, so ist es nicht nöthig, sich auf so kleine Verschiebungen der Prüfungssäule zu beschränken. — Nachdem man diese Prüfung ausgeführt, macht man eine zweite mit einer Quecksilbersäule von anderer Länge, die aber so viel wie möglich kein Multiplum oder Submultiplum der erstern sein muß. Mit denselben Vorsichtsmaßregeln macht man mit Quecksilbersäulen von anderen Längen noch drei oder vier.

Eine sehr wichtige Vorsicht, die man bei diesen Operationen niemals versäumen muß, besteht darin, sich am Ende der Operation zu versichern, daß die Quecksilbersäule ihre Länge nicht durch eine Temperaturänderung geändert habe. Zu dem Ende führt man die Quecksilbersäule auf den Theil der Röhre zurück, welcher der ersten Prüfung unterworfen wurde, und sieht zu, ob sie daselbst noch dieselbe Länge einnimmt wie zuvor. Die Anzahl der Abtheilungen und deren Bruchtheile, welche die Verschiebung des rechten Endes der Säule ausdrückt, ist offenbar gleichwerthig der Anzahl von Abtheilungen, um welche das linke Ende derselben Säule verschoben worden ist, d. h. in dem gewählten Falle um zehn Abtheilungen. Die Anwendung mehrerer Quecksilbersäulen von verschiedener Länge, die nicht in einem einfachen Verhältniß zu einander stehen, gestattet, entweder geradezu mittels jeder von ihnen oder durch eine zweckmäßige Combination derselben, die verschiedenen Theile der Capacität des Stiels in Function von einander, oder

alle in Function des regelmäßigsten auszudrücken, d. h. desjenigen, in welchen die Quecksilbersäule bei ihrer Verschiebung am wenigsten ihre Länge verändert. Da dieser durchaus regelmäßige Theil keine große Länge haben kann, so ist einleuchtend, daß man die Gränzen desselben mittels einer kurzen Säule ermitteln müsse.

Die Anwendung langer Säulen erlaubt, sehr weit abständige Theile des Stiels in Function von einander, unabhängig von dem Werth der dazwischen liegenden Theile, zu bestimmen. Man erhält sonach alle nöthigen Angaben, um eine oder mehrere Berichtigungstafeln zu construiren, d. h. eine oder mehrere Tafeln, in welchen die Zahlen der auf dem Stiel angegebenen Abtheilungen sämmtlich ausgedrückt sind, in Normal-Abtheilungen oder in Abtheilungen einer idealen, vollkommen cylindrischen Röhre von gleichem Durchmesser mit dem Theil der Röhre, welchen man zu diesen Normal-Abtheilungen erwählt hat. Wenn alle diese Prüfungen wohl ausgeführt sind, können offenbar die verschiedenen Berichtigungstafeln, die man daraus ableitet, nur noch äußerst kleine Unterschiede darbieten. Sobald die Röhren nach dem vorhin beschriebenen Verfahren kalibrirt worden, sind die Berichtigungen, welche man durch diese Prüfungsmethode findet, immer äußerst klein und oft ganz zu vernachlässigen. —

Wir werden nun, indem wir die einzelnen Thermometer näher betrachten, diese je nach ihrer Anwendung in besondere Gruppen theilen und zwar 1) in Thermometer, die zur Bestimmung der Lufttemperatur dienen, 2) in solche, durch die man die Temperatur der Erde gemessen, und 3) die zur Bestimmung der Wassertiefen benutzt worden sind. —

I. Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur.

A. Luftthermometer.

§. 14.

Rudberg's Luftthermometer verbessert von Regnault.

Das Princip, auf welchem dieser von beiden Physikern construirte Apparat beruht, ist folgender: Die Expansivkraft der Luft muß um so höher steigen, je größer bei gleicher Dichte und bei gleichem Volum ihre Temperatur ist. — Die Einrichtung ist folgende: Taf. II, Figur 3. Eine Glaskugel von circa 35^{mm} Durchmesser oder auch ein ähnlich großes cylindrisches Gefäß T steht so mit einem vollen Quecksilbergefäße A in Verbindung, daß eine zweimal bei o und n senkrecht gebogene Thermometerröhre, die an T und bei α an ein weiteres Glasrohr gelöthet, durch eine Stopfbüchse in den Cylinder A hineingeht. Der Bequemlichkeit wegen kann man auch zwei feine Thermometerröhren durch eine luftdichte Fassung bei x so verbinden, daß eine kleine Glasröhre xz mit beiden Röhren communicirt. — Ebenso wie bei b ist auch bei a eine Stopfbüchse, durch welche eine zweite Glasröhre ad hindurchgeht. Der aus gutem Krystallglase gefertigte Cylinder A trägt oben und unten Metallplatten, die mittels Schrauben s, s an ihn gepreßt werden können. Die untere Platte ist durch ein Schraubengewinde durchbrochen, und dient die Schraube zur Verschiebung des Kolbens m, der seinerseits nochmals durch ein feineres Gewinde der Schraube f durchbohrt ist. Daß beide Schrauben ganz genau schließen müssen, ist selbstverständlich. Will man nun den Apparat in Gebrauch setzen, so hat man folgende Vorrichtungen zu treffen: Um die Luft in F vollkommen trocken zu er-

halten, befestigt man an x eine mit Chlorcalcium gefüllte Glasröhre, pumpt mehrmals die Luft vermittelst einer Handluftpumpe aus und läßt immer auf's Neue Luft hinein, bis man von der vollständigen Trockenheit der eingeschlossenen Luft überzeugt ist. Dann schmilzt man bei z die Röhre zu. Durch ein geeignetes Instrument bricht man dann, durch a in den Cylinder A hineinfahrend, das Ende der Röhre n ab, füllt den Cylinder A mit reinem luftfreiem Quecksilber und befestigt nun die Röhre ad in der Stopfbüchse a. T bringt man in die Eismischung von 0° und schraubt anfangs k, dann zur feineren Berichtigung f so lange, bis das Quecksilber in beiden Röhren und zwar in der Röhre n zu einer vorher angebrachten Marke α steigt. Man mißt nun genau die Höhe des Quecksilbers in der Röhre ad über α und nennt sie h, ebenso notirt man den vorhandenen Barometerstand b, dann ist der auf die in T eingeschlossene Luft wirkende Druck natürlich $b + h$. — Bezeichnen wir das Volumen der in K eingeschlossenen Luft bei 0° mit V und das in der Röhre von d bis o mit v, so beträgt die Expansivkraft auf dieses Luftvolumen der Röhre, das die Temperatur t der umgebenden Luft hat, ebenfalls $h + b$, und es ergiebt sich das auf 0° und den Druck 1 reducirte Volumen der Luft in V und in v, wenn wir mit α den Ausdehnungscoefficienten der trocknen Luft bezeichnen:

$$= \left(V + \frac{v}{1 + \alpha t}\right)(h + b).$$

Will man nun z. B. die Temperatur eines erhitzten Gases oder eines Dampfes messen, so bringt man den Cylinder dort einige Zeit hinein, die ausgedehnte Luft wird auf das Quecksilber drücken und dieses in die Röhre ad hineintreiben. Nun schraubt man wieder k und f so lange, bis das Quecksilber die Marke α erreicht, notirt den Stand in der Röhre h^1, den Barometerstand b^1, die Lufttemperatur t^1, den Ausdehnungscoefficienten

des Gefäßes $T = k$, so ist bei T^0 das Volumen des Gefäßes $T = V\,(1 + kT)$. Die Luft in v hat die Temperatur t^1 und beide Luftmengen $V(1 + kt)$ und v haben die Expansivkraft $h^1 + h^1$. Das auf 0^0 und den Druck 1 reducirte Volumen beider ist

$$= \left(\frac{V(1+kT)}{1+\alpha T} + \frac{v}{(1+\alpha t^1)}\right)(h^1 + b^1)$$

und da die Luftmenge noch dieselbe wie vorhin, so muß:

$$\left(V + \frac{v}{1+\alpha t}\right)(h+b) = \left(\frac{V(1+kT)}{1+\alpha T} + \frac{v}{1+\alpha t^1}\right)(h^1+b^1)$$

woraus T sich leicht bestimmen läßt.

§. 15.

Gay-Lussac's Luftthermometer.

Dieses Instrument soll hauptsächlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen dienen. Dasjenige, welches Gay-Lussac seit seiner Arbeit über die Ausdehnung elastischer Flüssigkeiten anwandte und hier unten beschrieben werden soll, weil es in den Büchern der Physik nicht gehörig auseinander gesetzt wurde, sieht man Taf. II. Fig. 4 abgebildet. Es besteht aus einer wohl kalibrirten Glasröhre T, mit unten angeblasener Kugel B. Die Röhre muß wenigstens halb so viel als die Kugel fassen; wenn die erste 120 Raumtheile einnimmt, muß also die letztere etwa 200 dieser Theile enthalten können.

Vor dem Gebrauch muß das Instrument vollkommen ausgetrocknet werden. Dieß geschieht, indem man an das Thermometer eine mit Chlorcalcium gefüllte Röhre setzt und diese mit einer Luftpumpe verbindet. Macht man den Apparat drei bis vier Mal hintereinander luftleer, so ist das Thermometer hinreichend ausgetrocknet, vor Allem, wenn man es dabei erhitzt. Man

bringt nun in den Stiel des Thermometers eine etwa zwei Centimeter lange Quecksilbersäule m, entweder mittels eines sehr fein ausgezogenen Trichterchens, oder durch Eintauchen des zuvor erhitzten Thermometers in Quecksilber. Diese Quecksilbersäule oder diesen Zeiger (Index) bringt man mittels eines doppelten zusammengedrehten Clavierdrahts F auf den dazu ausersehenen Punkt der Theilung dieses Thermometers. Das Verfahren, um z. B. die Kälte zu erfahren, welche durch Verdampfung flüssiger schwefeliger Säure an der mit Schwamm oder Leinwand überzogenen Kugel entsteht, ist folgendes:

Nachdem das Thermometer senkrecht gestellt und der Zeiger in der Röhre nach oben gebracht ist, benetzt man die Kugel mit schwefeliger Säure. Sowie die Kälte zunimmt, rückt der Zeiger gegen die Kugel, und wenn er still steht, bringt man ihn mittelst des Eisendrahts nach b, soweit, als er, ohne in die Kugel zu treten, herabgebracht werden kann, weil es wichtig ist, daß alle vom Zeiger abgeschlossene Luft gleiche Temperatur habe. Man giebt der Röhre einige kleine Stöße, um den Zeiger definitiv festzustellen, und liest dann den Theilpunkt ab, wo sein unterer Rand stehen geblieben ist. Man läßt nun das Thermometer langsam die Temperatur der Umgebung wieder annehmen; allein, um diese genauer zu erhalten, taucht man es bis zu dem Zeiger in Wasser von bekannter Temperatur, und liest, nachdem man der Röhre abermals einige Stöße gegeben hat, den dem unteren Rand des Zeigers gegenüberliegenden Theilpunkt ab.

Gesetzt der Zeiger sei in der niedrigen Temperatur bei 208, und in der des Wassers, die 13° C. betrage, bei 274,8 der Theilung stehen geblieben.

Nimmt man 267 für das Luftvolum im Thermometer bei 0°, so wird die Temperatur des Wassers durch dieses Thermometer ausgedrückt $= 267 + 13 = 280$

sein; und, da die Temperaturen den Luftvolumen proportional sind, wird man haben:

$$274{,}7 : 208 : : 280 : x = 212{,}0.$$

Die mit dem Luftthermometer beobachtete Kälte wird also 212° sein, und um sie in Centesimalgraden auszudrücken, braucht man nur 212 von 267 abzuziehen: der Unterschied 55° ist die erzeugte Kälte unter Null.

Ziemlich oft geschieht es aber, daß man die Theilstriche, welche der niedrigsten Temperatur entsprechen, nicht lesen kann, indem sie entweder mit Reif beschlagen oder von der Flüssigkeit benäßt sind. Das einfachste Mittel, diesem Uebelstande abzuhelfen, besteht darin, daß man dem zum Schieben des Zeigers bestimmten Eisendraht einen Sperrhaken giebt, vermöge dessen nur eine bestimmte Länge von ihm in die Röhre geschoben werden kann. Nach sanften Stößen, die man der Röhre gegeben hat, um sich der Lage des Zeigers zu versichern, bleibt dieser nahe beim Ende des Drahtes sitzen; man weiß also im Voraus, welcher Theilstrich, obgleich man ihn während der Beobachtung nicht sehen kann, der Minimumtemperatur entspricht. Wir müssen indessen bemerken, daß man den Eisendraht, wenn man mit ihm den Zeiger fixiren will, sehr langsam in die Röhre schieben muß; denn wenn der Zeiger zu rasch hinabgestoßen wird, bleibt er um sehr ungleiche Größen unter dem Ende des Drahtes stehen, und ungeachtet der angegebenen Vorsichtsmaßregeln, langsam und successiv zu verfahren, schwankt die Lage des Zeigers doch um $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Grad. Alsdann würde es genauer sein, die Länge des Zeigers in Graden des Thermometers zu messen und den Theilstrich gegenüber seinem oberen Rande, gesetzt dieser bliebe sichtbar, abzulesen. Dadurch würde man sehr genau den dem unteren Rand entsprechenden Theilstrich erfahren.

Man kann das Thermometer auch so construiren, wie man es bei G Fig. 4 abgebildet sieht, nämlich den Stiel durch ein Haarröhrchen mit der Kugel vereinigen, und dann den Zeiger nur bis zur Vereinigung h der

beiden Röhren hinabschieben; man muß indeß das Thermometer nicht sehr geneigt halten, sondern nur so viel, als zum Hinabgleiten des Zeigers nöthig ist. Dadurch vermeidet man die Schnelligkeit des Hinabfallens, und folglich auch die Fehlerquellen. Es versteht sich von selbst, daß das Thermometer beim Ablesen der höheren Temperatur genau dieselbe Stellung haben muß, als bei der niederen Temperatur. Die eben genannte Construction ist vor Allem dann anwendbar, wenn der Quecksilberzeiger durch eine große Kälte gefroren sein könnte.

Glasblaselampe.

Die Lampe, deren man sich in den Laboratorien zum Glasblasen bedient, entspricht ihrem Zweck vollkommen, sobald der Docht gehörig zugerichtet ist. Dies ist aber einer der schwierigsten Punkte in der Kunst des Glasblasens; und überdies hat man ohne eine große Geschicklichkeit in dieser Arbeit, und vor Allem wegen der wenigen Mühe, die man sich gewöhnlich in den Laboratorien giebt, selten einen Docht, der nicht einen sehr unangenehmen Geruch verbreitete. Eine Weingeistlampe besitzt keine dieser Unannehmlichkeiten, sie läßt sich augenblicklich entzünden, und ihr Docht erfordert keine Sorgfalt; auch verbreitet sie keinen unangenehmen Geruch. Die Lampe, deren sich Gay-Lussac bediente, ist in Fig. 5, Taf. II. abgebildet. Sie besteht aus einem Messingcylinder b, welcher den Docht ersetzt und aus der Flasche F durch den Hahn r mit Alkohol gespeist wird. Das Ausfließen geschieht mit constantem Niveau mittelst der Röhre t, deren unteres Ende ein wenig niedriger steht, als der Rand der Lampe. v ist eine Schraube, mit der man die Lampe heben und senken kann; sie ist indeß nicht unumgänglich. Gebraucht man die Lampe nicht, so steckt man ihren Deckel auf und verschließt den Hahn. Das Uebrige ist wie bei den gewöhnlichen Lampen.

Spannungsmesser für mit Luft gemischte Dämpfe.

Um das Gesetz der Mengung von Gasen mit Dämpfen zu zeigen, hatte G. einen Apparat erdacht, welcher später in die meisten physicalischen Lehrbücher übergegangen ist und von dem, den wir hier beschreiben wollen, nur darin abweicht, daß er oben durch einen ausgehöhlten Hahn verschlossen ist. Da es aber schwierig ist, diesen Hahn dicht zu erhalten, indem das aufgestrichene Fett von dem Aether, dessen man sich gewöhnlich bedient, um die Mengungsweise eines Dampfes mit der Luft zu zeigen, aufgelöst wird, so haben wir ihn ganz fortgelassen.

Der neue Apparat ist Fig. 6, Taf. II. abgebildet. Das dicke Rohr T ist in gleiche Raumtheile getheilt und gegen sein unteres Ende an die Röhre S geschmolzen, die etwa 4 bis 5 Millimeter inneren Durchmesser und eine Länge von etwa 45 Centimetern hat. Es ist in einer eisernen Dille d festgekittet, die einen stählernen Hahn r, und, zur Befestigung auf dem Gestelle M, äußerlich ein Schraubengewinde besitzt. Unter dem Gestell steht ein Glas zur Aufnahme des Quecksilbers, welches beim Oeffnen des Hahnes aus dem Apparate fließt. Der Versuch wird nun in folgender Weise angestellt.

Man nimmt das Rohr T vom Gestell und gießt so viel Quecksilber hinein, daß, wenn man es wieder umkehrt, die Luft etwa die Hälfte seines Raumes, von der Wölbung bis zur Anfügung des inneren Rohres gerechnet, einnimmt.

Man bringt das Quecksilber in beiden Röhren in Niveau, indem man entweder durch den Hahn r etwas Quecksilber abfließen läßt, oder neues durch das Trichterchen e eingießt, und mißt nun das eingeschlossene Luftvolum. Jetzt bringt man die zu prüfende Flüssigkeit, z. B. den Aether, in den Apparat, indem man eine 5 bis 6 Centimeter hohe Säule von ihm durch den Trich-

ter e in das Rohr S bringt und langsam Quecksilber durch den Hahn r abfließen läßt. Dadurch entsteht in dem dicken Rohr ein partielles Vacuum, der Druck der äußeren Luft, der constant bleibt, macht das Quecksilber in der dünneren Röhre sinken, und wenn es bis etwa unterhalb der Zusammenfügung beider Röhren gekommen ist, bringt von dem Aether so viel in die Röhre T, als man gestatten will. Nun schließt man den Hahn r und ergänzt das ausgeflossene Quecksilber durch neues, das man in die dünne Röhre schüttet. Der Aether nimmt sogleich Dampfform an; allein da sein Dampf schwerer als die Luft ist, so mischt er sich langsam mit derselben. Um die Mengung zu befördern, neigt man daher den Apparat, und giebt ihm selbst einige Stöße, so daß der Aether die Wände benetzt. Sogleich bemerkt man, daß der Aether schnell im Rohre S steigt; und, wenn er nach abermaligem Steigen und Stoßen zum Stillstand gekommen ist, schüttet man Quecksilber in das dünnere Rohr, bis die Oberfläche des Aethers in dem Rohre T genau dem Theilstrich entspricht, bei welchem zuvor das Luftvolumen eingeschlossen ward. Mittelst eines Meter-Maßstabes mißt man die Länge der im Rohre S in die Höhe gestiegenen Quecksilbersäule, und nachdem man sie wegen der Capillarität in diesem Rohre berichtigt hat, vergleicht man sie mit der Quecksilbersäule, welche die Spannkraft des Aetherdampfes in einem Barometerrohre mißt. Der Apparat erfüllt übrigens auch die Bedingung eines vollkommen ausdehnsamen Gefäßes, wenn man so viel Quecksilber ausfließen läßt, bis der Druck innen und außen gleich ist.

§. 16.

Luftthermometer von Harris.

Wir führen hier gleichzeitig ein von Harris construirtes Luftthermometer an, dessen sich in der Neuzeit Rieß bedient hat, um die Gesetze der Erwärmung dün-

ner Drähte durch den Entladungsschlag einer Batterie zu ermitteln. Obwohl die nähere Ausführung zu den Spannungs-Phänomenen der Electricität gehört, so lassen wir hier die Beschreibung des Apparates in seiner allgemeinen Form folgen. — Taf. III., Fig. 1 stellt den Apparat dar. Eine Kugel von circa 3 Zoll im Durchmesser ist an drei Stellen durchbohrt, so daß zwei dieser Oeffnungen a und b einander gegenüber, die dritte c seitlich stehen. Durch die Oeffnungen a und b geht ein spiralförmig gewundener Platindraht, den Rieß etwa im Durchmesser von 0,04 Linien Dicke und 60 Linien Länge anwandte. Die Oeffnung c ist durch einen Stöpsel geschlossen, der auch geöffnet werden kann, um die äußere Luft in Gleichgewicht mit der in die Kugel eingeschlossenen zu setzen. An der Kugel ist ein Glasröhrchen von etwa ½ Linie Weite angeschmolzen und oben in eine trichterförmige Erweiterung ausgezogen. — Gießt man in den kleinen Trichter eine Flüssigkeit, etwa gefärbten Weingeist, so steigt diese in der Röhre in die Höhe und nimmt eine Stelle ein, die durch eine daran liegende Scale näher bezeichnet wird. Man hat natürlich zu dem Zwecke, um die Flüssigkeit in die Röhre zu leiten, den Stöpsel bei c geöffnet; jetzt schließt man die Oeffnung, so daß die Luft in der Kugel vollständig abgesperrt ist, und läßt einen Entladungsschlag durch den Platindraht gehen. In demselben Augenblicke wird der Platindraht erwärmt, theilt die Wärme der Luft mit, die sich ebenfalls ausdehnt und auf die Flüssigkeit in der Röhre drückt, so daß diese um so weiter herabgetrieben wird, je stärker die Erwärmung war. — Diese Depression ist somit das Maß (abzulesen in Scalentheilen) für die durch den Entladungsschlag bewirkte Erwärmung des Platindrahtes.

Im Uebrigen ist zu vergleichen: Ueber die ersten Constructionen dieses Thermometers durch Kinnersley: Franklin, Experiment and Observat. 5. edit. pag. 396. — Beccaria Elettricismo artificiale 1772 pag. 229 und die Verbesserungen von Saxtorph, Electrici-

tätslehre, Kopenhagen 1803 Seite 417 von Snow Harris Philosoph. Transact. f. 1827 p. 19, von Peter Rieß, Pogg. Ann. Bd. 40 p. 335, Bd. 43 p. 49, Bd. 45 p. 7 und Bd. 52 p. 315. —

§. 17.

Reductionen von Luftthermometergraden in Quecksilberthermometergrade von Waterstone.

Schließlich seien hier noch die Umwandlungen der Grade t_a des Luftthermometers in Grade t_m des Quecksilberthermometers von Waterstone in Phil. Mag. [4] II, 63 und Instit. 1853 p. 144 erwähnt. Er giebt die Formel der Umwandlung

$$t_m = \frac{B\ t_a}{A - t_a} - \frac{t_a{}^3}{C^3} - \frac{t_a}{D}$$

und von t_a in t_m nur approximativ die Formel

$$t_a = \frac{t_m}{\frac{B}{A - t_m} - \frac{t_m}{C^3} - D}$$

wo A, B, C, D Constante mit folgenden Werthen sind: $\log B = 3{,}7145723$; $A = 4539{,}617$; $\log C^3 = 6{,}43303$ und $\log D = 0{,}78587$.

B. Quecksilber- und Weingeistthermometer.

Von den eigenthümlich construirten Thermometern dieser Art führen wir hier zunächst die Constructionen von Walferdin vor, die er unter dem Namen der metastatischen bekannt gemacht hat.

§. 18.

Das metastatische Quecksilberthermometer.

Dieses Instrument ist so eingerichtet, daß man das Quecksilberniveau nach Belieben verändern und somit nach Bedürfniß für Temperaturen, die der, welche man bei den betreffenden Beobachtungen mit Genauigkeit zu bestimmen wünscht, nahe liegen, ein eigenes Thermometer darstellen kann. Wegen der Verschiebbarkeit des Quecksilberniveaus hat W. dieses Differentialthermometer ein metastatisches genannt.

Zur Construction desselben nimmt er ein sehr feines Haarröhrchen, dessen Mangel an Cylindricität nach dem angezeigten Verfahren berichtigt ist.

An einem seiner Enden hat es, wie ein gewöhnliches Thermometer, einen Behälter, von solchen Dimensionen, daß wenn der Stiel eine Länge von 25 bis 30 Centimeter hat, die gesammte Anzahl der Abtheilungen seiner willkürlichen Scale etwa 15 Grad entspricht.

Das obere Ende des Stieles endigt sich in eine Kammer Taf. III., Fig. 8, 9, 10 von umgekehrter Kegelgestalt, deren Scheitel sehr ausgezogen ist. Dieser Kegel und die Verlängerung seines Scheitels haben den Zweck, eine gewisse Menge Quecksilber, die von der im Behälter befindlichen nach Belieben abgetrennt worden ist, vertical schwebend zu erhalten, wie man es in Fig. 3, Taf. III. abgebildet sieht. Um dahin zu gelangen, steigert man die Temperatur bis das Quecksilber in die obere Kammer gestiegen ist, Fig. 4, und sobald das Instrument in eine Temperatur gebracht ist, die der mit Genauigkeit zu beobachtenden nahe liegt, neigt man es und giebt ihm einen leichten Stoß mit dem Finger, bis sich oben ein Stück der Quecksilbersäule ablöst, welches dann, wenn die Temperatur sinkt, in der Kammer hängen bleibt, Fig. 3.

Hierauf bringt man das Instrument in zwei Vergleichungsmittel (milieux de comparaison), und vergleicht die Endpunkte seiner Scale mit einem Normalthermometer. So kennt man die Anzahl der Abtheilungen seiner willkürlichen Scale, die einem Centesimalgrade entsprechen.

Das metastatische Quecksilber ist nun geregelt und kann innerhalb der Grenzen seiner neuen Scale zu scharfen Temperaturbestimmungen angewandt werden, ohne befürchten zu dürfen, daß das in der Kammer zurückbehaltene Quecksilber herunterfalle.

Will man hierauf das Instrument auf seinen Normalzustand zurückführen, sei es, um es in diesem Zustande anzuwenden oder zur Bestimmung anderer Temperaturen zu gebrauchen, so erwärmt man dasselbe, bis das Quecksilber im Stiel mit dem in der Kammer zurückgehaltenen (Fig. 3) wieder in Berührung kommt, und wenn diese Vereinigung stattgefunden hat (Fig. 4), läßt man die Temperatur langsam sinken, bis das Quecksilber wieder seinen früheren Platz in der Röhre eingenommen hat (Fig. 2. Taf. III).

Nichts ist leichter, wie man sieht, als dieses Instrument zu handhaben, da es immer möglich ist, die in die konische Kammer zu bringende Quecksilbermenge nach Belieben zu vergrößern und zu verringern, und folglich für diejenige Temperatur zu reguliren, die man für gut hält zum Ausgangspunkt zu wählen.

Anlangend den Vergleich des metastatischen Thermometers mit dem Normalthermometer, so geschieht derselbe mit desto größerer Genauigkeit, als die wesentlichste Bedingung dazu, die vollkommene Identität der Behälter, hier leicht zu erfüllen ist. Denn die beiden, obwohl im Gange sehr verschiedenen Instrumente, können in der Gestalt und Capacität ihrer Behälter streng identisch sein, da das erstere eine sehr capillare Röhre besitzt, um nicht mehr als etwa 15 Grad zu umspannen, das letztere aber eine Röhre von ziemlich weitem Durchmesser

hat, um auf derselben Länge mehr als 100 Grad zu fassen.

Aus Vorstehendem ersieht man, wie ein einziges Instrument ein ganzes Thermometerspiel von großem Umfang der Scale ersetzen kann. Es erlaubt Temperaturunterschiede, entsprechend einem Hundertel eines Centesimalgrades, direct abzulesen, und behält für alle Fälle, wo man es anwendet, d. h. für alle Temperaturen, die das Quecksilber anzuzeigen vermag, gleiche Empfindlichkeit.

Es ist seltner, als man gewöhnlich glaubt, daß ein Quecksilberthermometer vollkommen luftfrei sei; und bei den gewöhnlichen Thermometern ist es oft unmöglich, die Luftblase, die sie fast immer enthalten, aus dem Behälter in den oberen Theil der Röhre zu bringen. In dem metastatischen Thermometer ist es dagegen sehr leicht diese Luftblase in der konischen Kammer an seinem Ende zu sehen. Die aus der Parallaxe entspringenden Fehler endlich, die in den Thermometern von kurzem Gang bis auf einen Centigrad steigen können, sind beim metastatischen Thermometer, wenn man sie nicht vermeiden kann, von keinem Belang, da das Instrument keinen sehr großen Gang besitzt.

§. 19.

Metastatisches Weingeistthermometer.

Zu genauen Untersuchungen, bei denen es auf die Ermittlung geringer Temperaturschwankungen ankommt, bedient sich Walferdin eines Instrumentes, welches noch geringere Unterschiede angiebt als das metastatische Quecksilberthermometer.

Um diesem Instrumente eine hinlängliche Empfindlichkeit zu geben, ohne daß sein Behälter ein größeres Volum besitzt als das eines gewöhnlichen Thermometers vom kleinsten Durchmesser, und ohne daß seine Länge über 2 bis 3 Decimeter hinausgeht, wendet er eine

Röhre von solcher Capillarität an, daß, wenn man an das eine Ende derselben einen Behälter angeblasen hat, die zur Füllung dieses bestimmte thermometrische Flüssigkeit, Quecksilber, auf die gewöhnliche Weise nicht hineinzubringen ist; allein der Alkohol, die Innenwand dieser Röhre benetzend, geht hinein und füllt Röhre und Behälter. Die sonach vom Alkohol benäßte Röhre erlaubt ein Tröpfchen Quecksilber hineinzubringen, und dieses Tröpfchens bedient er sich als Zeiger. Man sieht dasselbe an der 405. Abtheilung der willkürlichen Scale des in Fig. 5, Taf. III. abgebildeten Instruments. Dieses Instrument endigt oben zur Seite in einem kleinen Sack (panse), bestimmt das Quecksilbertröpfchen aufzunehmen, welches man, wenn man will, in die Mündung der Röhre zurückfallen läßt.

Man begreift, daß dieses Tröpfchen, einmal in die Röhre eingebracht, vermöge der Zusammenziehung und Ausdehnung des den Behälter füllenden Alkohols sinkt und steigt und sich bei der geringsten Temperaturveränderung mit Schnelligkeit bewegt.

Giebt man dem cylindrischen Behälter des metastatischen Weingeistthermometers 4 bis 5 Millimeter Durchmesser auf 8 bis 10 in die Länge, so erhält man ein Instrument, welches bei nur 2 bis 3 Decimeter Länge den tausendsten Theil eines Centesimalgrades zu beobachten erlaubt, als entsprechend dem Werthe jeder Abtheilung, die man noch mit bloßem Auge, ohne Hülfe eines Kathetometers und selbst ohne eine zur Berichtigung der Effecte der Parallaxe angewandte Lupe weiter eintheilen kann.

Ein einziges dieser Instrumente, zweckmäßig regulirt, kann die geringsten Unterschiede bei allen dem Alkohol erträglichen Temperaturen anzeigen, da man immer im Stande ist, das Quecksilbertröpfchen bei der zum Ausgangspunkt gewählten Temperatur in die Röhre zu bringen. Dieses Instrument, dessen Umfang für die ganze Länge seiner Scale wenigstens einem Centigrad entspricht, ersetzt also für sich allein die Thermometer-

röhre von großem Gang, die nothwendig ist, um bei diesen verschiedenen Temperaturen mit Genauigkeit zu beobachten, und da die Ausdehnung des Alkohols weit beträchtlicher ist als die des Quecksilbers, so kann der Behälter weit kleiner sein als bei einem Quecksilberthermometer mit dem engsten Haarröhrchen.

Der Behälter des metastatischen Alkoholthermometers, braucht demnach nur eine sehr kleine Masse zu haben, und somit ist die wesentliche Bedingung erfüllt, um den zu untersuchenden Körpern die möglichst geringste Wärmemenge zu entziehen.

Folgendermaßen regulirt W. dieses Instrument, um die Temperatur der Thiere zu beobachten, z. B. um die geringen Unterschiede zu beobachten, die er in der Temperatur des Menschen aufgefunden hat. Im Voraus wissend, daß diese nahe an 37° C. liegt, stellt man das metastatische Alkoholthermometer in ein Vergleichungsmittel von etwa 37,50°, dabei das Quecksilbertröpfchen in dem seitlichen Sack zurückhaltend. Hierauf schüttet man dieses Tröpfchen aus dem Sack in den Hals der Kammer, so daß es in die Röhre tritt, sogleich wie die Temperatur des Mittels zu sinken beginnt. Man merkt sich alsdann den Punkt der willkürlichen Scale des metastatischen Thermometers, wo es sich mit der von dem in demselben Medio stehenden Thermometer angezeigten Temperatur im Gleichgewicht hält, z. B. bei der Zahl 70, d. h. der 700. Abtheilung des metastatischen Thermometers, Fig. 5, wenn das Normalinstrument 37,40° anzeigt.

Bei Anstellung eines Versuchs beobachte man zuvörderst den Punkt, wo das Tröpfchen bei der gesuchten Temperatur stehen bleibt, z. B. bei der 405. Abtheilung. Darauf, wenn die Temperatur des Mittels, welches zu dem ersten Vergleich gedient hat, sich unter die gesenkt hat, bei welcher das Tröpfchen während des Versuchs stehn bleibt, z. B. bei 36,40°, tauche man das metastatische und das Normalthermometer abermals in dieses Mittel. Das Tröpfchen sinkt alsdann in der

Röhre hinab, z. B. bis zum Nullpunkt, der demnach 36,40° entspricht. Aus den beiden sonach an den äußersten Punkten der Röhre des metastatischen Thermometers gemachten Vergleichungen leite man den Werth eines Grades in Theilen von seiner willkürlichen Scale ab. In dem gewählten Beispiele entspricht der Grad 700 Abtheilungen, weil in dem Mittel von 37,40°, welches zur ersten Vergleichung gedient hat, das Tröpfchen sich auf der 700. Abtheilung des metastatischen Thermometers befand, und weil es in dem Mittel von 36,40° auf Null war. Man addire also zur Vergleichungstemperatur 36,40° die dem von Werth 405 Abtheilungen entsprechende Temperatur, welche, da 700 Abtheilungen auf einen Grad kommen, gleich ist 0,578° und so findet man, daß die bei dem Versuch beobachtete Temperatur ist 36,40° + 0,578° oder 36,978°.

Zu bemerken ist, daß die Unregelmäßigkeit der Ausdehnung des Alkohols hier von keiner Wichtigkeit ist, weil das Instrument einerseits nur einen einzigen Grad bespannt, und andrerseits für eine Temperatur regulirt wurde, die von der zu beobachtenden wenig abliegt. Die Berichtigung also, die bei einem gewöhnlichen Weingeistthermometer wegen der Unterschiede in der Ausdehnung seiner Flüssigkeit bis zu der Vergleichungstemperatur zu machen wäre, ist hier vollständig ausgemerzt, da die letztere Temperatur vom Quecksilberthermometer angegeben wird. Man sieht also, daß dieses Differentialthermometer zu den verschiedenartigsten und empfindlichsten Versuchen dienlich ist. Es ersetzt das Differentialthermometer von Leslie, das Thermoscop von Rumford und den thermo-electrischen Apparat in vielen Fällen, wo ihre Anwendung Unsicherheit und Schwierigkeiten darbieten.

Die Gestalt des Behälters kann übrigens am metastatischen Weingeistthermometer so abgeändert werden, daß man die Unterschiede in der specifischen Leitungsfähigkeit der Körper studiren und annähernd messen kann.

Wir wollen einige angeben, die W. zu verschiedenem Behufe gewählt hat.

Wenn man die Röhre etwas weniger capillar nimmt als bei dem Instrument Fig. 5 und dem Behälter die in Fig. 6 abgebildete Gestalt giebt, so wird das metastatische Thermometer speciell geeignet, die Temperaturunterschiede ebener Flächen, dünner Blättchen u. s. w. anzugeben und den zu diesem Behufe von Fourier angewandten Contact-Thermoskop oder Thermometer zu ersetzen.

Mit einem wie Fig. 8 gestalteten Behälter kann man sich desselben als eines thermometrischen Behälters bedienen, und dann die Wärmecapacität der Körper bestimmen, wenn diese, wie bei der Dulong'schen Methode, gepulvert worden sind, und darauf in die Höhlung, also gleichsam in das Innere des Thermometers gebracht werden. Auch kann man auf solche Weise an Flüssigkeiten, die in Behälter gegossen werden, die geringsten Temperaturveränderungen ermitteln, welche sie in Folge einer Verbindung, Vermischung, Verdampfung oder Krystallisation erleiden. Endlich sieht man aus Fig. 7, Taf. III, daß dem Behälter eine solche Gestalt gegeben werden kann, daß es in einer größern Ausdehnung als irgend ein anderes Thermometer, cylindrische Röhren, z. B. Barometerröhren unmittelbar berührt, z. B. dem halben Umfang nach umfaßt.

Schließlich mag noch die schon gemachte Bemerkung wiederholt sein, daß zu allen genauen Beobachtungen nur solche Thermometer anwendbar sind, die eine auf die Röhre selbst aufgetragene, willkürliche und dann durch sorgfältige Kalibrirung genau bestimmte Scale besitzen. —

§. 20.

Thermometrograph. — Maximum- und Minimum thermometer.

1) Rutherford. Erfinder der Thermometrographen neuester Construction. Edinbourgh. Philos. Trans. T. 3, 1794
2) Blackadder. Selbstregistrirende Instrumente auf Thermo-, Hygro- und Barometer angewendet. Edinb. Journ. of Scien. Nr. IV. p. 251 und im Auszuge Pogg. Ann. 6 p. 502.
3) Winkler. Der Thermometrograph der Sternwarte zu Halle. Pogg. Ann. 6 p. 127 und Pogg. Ann. 7 p. 13 und p. 244.
4) Cavendish. Philos. Tr. for 1757. Vol. 50 l. p. 301.
5) Landriani. Thermometer und Thermometrograph: Givorn di Fis. chim. 1818 p. 388 et 418.
6) Six. Phil. Transaction for 1782. Vol. 72 p. 72.
7) Annuaire météorologique de la France T. 1 p. 192.
8) Aimé. Ann. de chim. et de phys. Ser. 3 T. 15 p. 6.
9) Adie. Edinbourgh. Phil. Journ. 54 p. 84.
10) Walferdin. Thermomètre à maximum à bulle d'air. Compt. rend. 40 p. 951 — 954. — Institut. 1858 p. 138.
11) Negretti et Zambra. Thermomètre à maximum. Compt. rend. 40 p. 1060 et 1061.
    Dove, Berlin Acad.-Berichte 1856 p. 142.
    Zeitschrift für Math. 1857 Tom. 1 p. 72.
    Pogg. Ann. 99 p. 336.
12) Secretan. Thermomètre à maxim. Compt. rend. 40 p. 1060.
13) J. Philipps. On a new method of making maximum selfregistering Thermometers. — Athenaeum 1856 p. 160 Instit. 1856 p. 363.
14) F. Stach C. Wollheim's verbesserter Termograph. Dinglers Journal Bd. 144 p. 176.
15) J. G. Macvicar. Notice of a new maximum and minimum mercurial thermometer. Journal of chem. Sec. X p. 221 — 223 und Cosmos XII. 66.
16) Henry Hennesey in Philosophical Magazine, October 1845 p. 273.

Wir führen hier noch die, durch die angeführten theils vollständig beseitigten, theils ziemlich unbrauchbaren Maximumthermometer an:

King in Edinbourgh. Journal of Sience Nr. 17 p. 113 und Wiener Zeitschrift Theil 5 p. 104.
Keith in Richolsons Journal Theil III. p. 266.

Chrighton in Journal de Chim. et de Phys. Tom. V. p. 32.
v. Arnim. Gilbert Ann. II. p. 289.
Morstadt. Ueber den Thermographen in dem Berichte über die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Prag 1837 p. 105.
Klimpert. Anzeige eines neu erfundenen Thermometers für Blinde. Breslau 1823.

Einige von ihnen sind nur der Theorie nach bekannt, nie aber practisch ausgeführt worden, so daß sie wohl nur einen historischen Werth haben. —

Der Thermometrograph hat die Aufgabe anzuzeigen, welches während einer längern Periode der höchste und der niedrigste Temperaturstand war. Cavendish (4) war wohl der erste, welcher diese Instrumente, allerdings in noch unvollkommener Form einführte. Er hatte vor allen Dingen noch beide Röhren getrennt, und dem Maximumthermometer eine Form, wie sie Taf. IV. Figur 1 zu sehen ist, gegeben.

Eine Kugel, mit welcher eine Röhre in Verbindung, die oben offen ist, mündet in ein Reservoir, so daß der Weingeist, der sich über dem in der Kugel befindlichen Quecksilber vorfindet, wenn das Maß sich ausdehnt, überfließt und in das Reservoir hineintritt. Zieht sich später das Quecksilber zurück, so kann man dann aus dem in der Röhre entstandenen leeren Raume, der über dem Weingeiste ist, auf die höchste Temperatur, die in der bestimmten Zeit stattfand, schließen. Obwohl diese Bestimmung des Maximums der Temperatur nicht mehr gebräuchlich, ist doch Cavendish derjenige gewesen, der das Princip des Ausflusses auch bei Thermometern, wie wir es später sehen werden, zuerst in Anwendung gebracht hat. Das Minimumthermometer Taf. IV. Fig. 2 hat Quecksilber über dem Weingeiste. Beide Substanzen müssen sich an der Einschnürung zwischen der mittleren kugeligen Auftreibung und der Röhre berühren. Steht nun das Instrument aufrecht, und sinkt die Temperatur, so fließt Quecksilber in die kugelige Auftreibung, ohne bei wieder eintretender Erwärmung in die Röhre zu fließen. Es tritt somit nun der

Alkohol nach und nach aus der Länge des mit Alkohol gefüllten Stückes, und läßt sich ersehen, um wie viel tiefer die Temperatur unter der vom Instrumente augenblicklich abgelesenen war. — So wie man beim Maximumthermometer jedesmal, ehe man zur genauen Bestimmung übergeht, durch seine schräge Stellung und Erwärmung der Röhre neuen Weingeist bis an's Quecksilber bringen muß, so wird man hier beim Minimumthermometer das Instrument so lange neigen müssen, bis das in die Kugel übergetretene Quecksilber jene Einschnürung genau erreicht. — Wir übergehen hier die Construction des Thermometers und Thermometrographen von Landriami ([5]), da sie nie recht zur Anwendung gekommen ist und deshalb nur ein historisches Interesse darbieten, und wenden uns zur Construction des Instrumentes zur Beobachtung der Maxima und Minima von Six ([6]), wie es von Bellani und Bunten ([7]) verbessert erschienen ist. Taf. IV. Fig. 3 zeigt uns das zweischenkelige Thermometer, daß in der Biegung eine Quecksilbersäule, und auf beiden Seiten darüber mit Weingeist gefüllt ist. Schwach federnde Stahlstäbchen, werden vermittelst eines Magnetes jederseits aufs Quecksilber gebracht und nun den Bewegungen des Quecksilbers überlassen, von dem sie aufwärts gerückt werden, wenn es sich ausdehnt, auf dem andern Schenkel jedoch liegen bleiben, wenn das Quecksilber entweicht, da die Reibung des Drahtes im Weingeiste und am Glase so groß ist, daß das Stäbchen haften bleibt. Somit liest man auf der einen Seite das Maximum, auf der andern das Minimum der in der Beobachtungszeit vorhandenen Temperatur ab.— Aimé ([8]) hat später eine Verbesserung an dem Instrumente in der Art vorgenommen, daß er, wie Taf. IV. Fig. 4 zeigt, den untern Theil der beiden Schenkel erweitert, so daß die Stahlstäbchen, welche leicht in das Quecksilber tauchen und dann schwer in den Weingeist hinein zu bringen sind, in diesen Erweiterungen liegen bleiben. — Die spätere Verbesserung dieses Thermometers von Adie ([9]) hat ebenfalls geringes Interesse, da

das Mangelhafte auch dadurch nicht beseitigt ist. — Die größte Modificirung des Instrumentes, die Theilung in zwei gesonderte Apparate, also der Natur nach ähnlich wie Cavendish, hat Rutherford mit dem Six-Thermometer vorgenommen und glücklich durchgeführt.

Rutherford ([1]) war der Erste, der auf die Idee eines selbstregistrirenden Thermometers neuester Construction kam. Nach ihm wandte Blackadder ([2]) diese neue Construction auf Hygro- und Barometer an und Winkler ([3]) veröffentlichte die mit dem Rutherford'schen Instrumente gemachten Beobachtungen mit zuerst. Es besteht der Thermometrograph aus zwei mit einander wagerechten und neben einander liegenden Thermometern (Taf. III, Fig. 9). Das eine ist mit Quecksilber, das andere mit Weingeist gefüllt. In dem ersteren liegt ein Eisenstiftchen, welches, — da es sich nicht mit Quecksilber amalgamirt, — durch das sich ausdehnende Metall fortgeschoben wird. Erkaltet das Thermometer und zieht sich das Quecksilber zurück, so bleibt das Stiftchen liegen und zeigt somit das Maximum der Temperatur für diese Dauer an. In dem Weingeistthermometer liegt ein Glasstäbchen, gewöhnlich an beiden Seiten in kleinen Kügelchen endend und dunkel gefärbt. Dieses Stäbchen wird bei dem Erkalten des Thermometers, vermittelst der Adhäsion des Weingeistes und Glases, mit der sich zusammenziehenden Flüssigkeit mitgezogen und ruht fest auf der Stelle, bei der die größere Dichtigkeit, also das Minimum der Temperatur für die bestimmte Periode eintritt. Bei der Ausdehnung des Weingeistes wird der Stift nicht fortgezogen, weil mit der Consistenz der Masse auch die Adhäsionskraft abnimmt. — Dieses ist im Allgemeinen die Einrichtung eines Instrumentes, welches doch viele Mängel besitzt. — Bei feineren Instrumenten befindet sich am Gipfel der Quecksilbersäule ein kleiner Stahlstift, der vom Quecksilber durch ein kleines Capillarröhrchen getrennt bleibt. Obwohl zur leichteren Bewegung des Stiftes das Röhrchen nothwendig ist, so kommt es doch

vor, daß das Losreißen des Stiftes von dem Gipfel der Quecksilbersäule bei ihrem Verkürzen nur sehr unsicher erfolgt, und somit der Stift noch mehrere Scalentheile mitgerissen wird; also die Beobachtung eine ungenaue, sogar eine falsche wird. — Das Capillarröhrchen dient offenbar zur Verringerung der Adhäsion, füllt sich aber allmälig doch mit Quecksilber und leitet jene geringe Adhäsionskraft ein, die doch zur Fehlerquelle für die Beobachtung wird. — Walferdin ([10]) versieht deshalb das Thermometer an seinem obern Ende mit einem erweiterten Reservoir, welches, nachdem das Thermometer gefertigt, mit trockner Luft angefüllt und verschlossen wird. Die in dem Reservoir befindliche Luftblase wird nun durch Erhitzen in die Quecksilbersäule gebracht, so daß sie von letzterer ein kleines Stückchen abtrennt, welches in dem obern Ende des Thermometers bleibt. Legt man es nun horizontal oder geneigt, so zeigt der abgetrennte Quecksilber-Index das Maximum der Temperatur an. Negretti und Zambra ([11]) haben dem Instrumente folgende Einrichtung gegeben: Die Thermometerröhre wird dicht über der Kugel rechtwinklig umgebogen und in die Umbiegungsstelle ein mit umgebogener und dadurch festgeklemmter Glasstift gebracht, welcher einen sehr dünnen Kanal für das sich ausdehnende Quecksilber übrig läßt. Stellt man nun das Instrument horizontal auf, so wird die Quecksilbersäule sich dann an dieser Stelle trennen, sobald die Wärme abnimmt, und man wird dann den höchsten Temperaturstand später unmittelbar am Ende des abgetrennten Quecksilberfadens ablesen können. Neigt man das Thermometer, so muß diese Neigung schon hinreichen, um die getrennten Quecksilberfäden wieder zu vereinigen. — Auch Secretan ([12]) hat diese Thermometer nicht nur beschrieben, sondern ihnen auch wie Dove einen Vorzug vor andern Instrumenten dieser Art ertheilt. — Was die Minimumthermometer betrifft, so ist der Uebelstand vorherrschend, daß bei hoher Temperatur der Weingeist der Kugel und der Röhre ver-

dampft und condensirt die Spitze der Röhre anfüllt. Es ist daher nothwendig, vor jeder Beobachtung des Temperaturminimums darauf genau zu achten, und durch Erwärmung der Spitze mittelst einer Lampe die condensirten Weingeisttropfen zurückzuführen. — Diese Erscheinungen über die Veränderlichkeit der Weingeistsubstanz sind schon früher beobachtet und findet man, — um nur Einiges zu erwähnen — Mittheilungen darüber: Trales an Bessel. Astronom. Jahrb. von Bode, 1825 p. 211. — Ueber Veränderungen im Weingeistthermometer in Muschenbroek Introductio ad Phil. nat. §. 1567, ferner Beobachtungen von Nollet: Annal. de chim. et de phys. 33, p. 424.

§. 21.

Pouillet's und Pleischl's Thermometer.

Wir erwähnen hier noch die Versuche, die Pouillet Compt. rend. 1837 I. p. 513 mit dem Weingeistthermometer gemacht, indem er es in einen Brei aus Schwefelsäure und fester Kohlensäure brachte. Bei diesen Versuchen kam er zu den Resultaten, daß das Luftthermometer auch bei den niedrigsten Temperaturen einen richtigen Gang bewahrt, also als wahres Normalthermometer anzuwenden ist (man vergleiche vorher das über die thermometrische Substanz Gesagte), daß der Gefrierpunkt des Quecksilbers bei — 40,5° C. liegt und daß das Weingeistthermometer, mit 40gradigem Weingeist gefüllt, unter Null einen regelmäßigen Gang mit dem Luftthermometer hat. Ferner daß der Schmelzpunkt jenes Gemisches aus fester Kohlensäure und Schwefelsäure bei — 78,8° C. liegt. Ueber diese künstliche, bei Thermometern angewendete Mischung ist zu vergleichen in den Originalaufsätzen:

Thilorier: Compt. rend. 1836, II p. 432 und Ann. Pharm. 30 p. 122.
Aimé: L'Institut, Nr. 179 p. 333.

Brunel: Journ. Pharm. 12, p. 301.
Pouillet: Pogg. Ann. 39, p. 567.
Ratterer: Die neueste Construction des Condensations-Apparates.

Die andern Aufsätze haben mehr ein chemisches als physikalisches Interesse.

Pleischl (Pogg. Ann. 68 p. 116) hat statt des Weingeistes mit vielem Vortheil den Schwefelkohlenstoff (nach Lampadius Schwefelalkohol) angewendet, ihn mit Jod gefärbt, damit der Flüssigkeitsfaden in die Augen fällt. Da der Schwefelkohlenstoff sich noch vortrefflicher in der Kälte bewährt, als Alkohol, so wäre er, wie auch ein von Kapeller in Wien construirter Schwefelalkoholthermometer oder Kryometer beweist. jenem natürlich vorzuziehen. — Zeigt indeß der Alkohol auch in Bezug auf seinen Zusammenhang Veränderungen, so kann der Schwefelkalk auch nicht ganz von jenen Fehlern befreit sein, und dieses haben auch die Untersuchungen von Gay-Lussac Ann. de chim. et de phys. T. II p. 130 und von Muncke, Mém. présent. à l'académie de St. Petersbourg T. II p. 488 bewiesen. Wir finden dort, daß die Ausdehnung mehr proportional dem Alkohol als dem Quecksilber ist. —

Wir haben diese Constructionen angeführt, um einmal zu zeigen, daß man, wo es sich darum handelt tiefere Temperaturen zu messen, den Schwefelkohlenstoff anwenden kann, dann aber auch den Beweis zu liefern, daß in der Anwendung beider Substanzen gerade kein so großer Unterschied vorhanden ist. —

§. 22.

Maximum-Thermometer von Philipps.

Wenn wir nun noch einige hierher gehörige Constructionen der neuern Zeit anführen, so wollen wir zunächst zu dem Maximumthermometer von J. Philipps ([13]) übergehen. Philipps hat das Instru-

ment insofern modificirt und es dadurch besonders zum Registriren geringer Temperaturdifferenzen geeignet gemacht, daß er die Röhre des Quecksilberthermometers von so geringem innerem Durchmesser macht, daß bei horizontaler Lage desselben das Maximum durch einen von der Säule sich abtrennenden Faden angezeigt wird, der in eine am Ende des Thermometers angebrachte kugelförmige Erweiterung hineingeht und dort verbleibt, so daß bei der Zusammenziehung der Säule eine Vereinigung nicht mehr möglich ist. — Man kann wohl nicht läugnen, daß diese Construction Aehnlichkeit mit der vorhin besprochenen von Walferdin verräth; — doch sei sie hier der Vollständigkeit wegen erwähnt und nur der King'schen Methode hier gleichzeitig Erwähnung gethan, die in ihren Prinzipien eigentlich beiden sich aufs Engste anschließt.

§. 23.

Der Thermograph von Wollheim.

Wir wollen ferner den Thermographen von Wollheim namentlich insofern erwähnen, als in der neuern Zeit F. Stach[14] diese ältere Construction wieder aufgenommen und eine Modificirung vorgeschlagen hat, ohne sie unsers Wissens recht zu Ende zu führen. Nach Wollheim bildet die Thermometerröhre einen Waagebalken und ist, wie bei einer Waage, unterstützt. An ihren Enden hat die Röhre zwei Quecksilbergefäße, wovon das eine ganz mit Quecksilber gefüllt, das andere kleinere und kugelförmige nur zum Theil Quecksilber enthält und somit wohl Raum zur Ausdehnung bietet, indeß durch die Equilibrirung so eingerichtet ist, daß es stets höher als das andere steht. — Wir möchten nun als Modification eine Einrichtung ähnlich der von Philipps in der Art vorgeschlagen, daß wenn das Maximum durch Trennung des Fadens geschieht und der Ueberschuß in die zweite Kugel geht, durch Ablesung am

Waagebalken, der proportional den Wärmegraden getheilt ist, die vorhandene Temperatur abgelesen wird. — Schließlich sei in Bezug auf diese Constructionen noch

§. 24.

das Maximum- und Minimumthermometer von J. H. Macvicar ([14])

erwähnt. Seine Construction ist etwa folgende: Ein horizontal liegendes Thermometerrohr ist an beiden Enden mit Kugeln versehen, von denen die eine nach oben, die andere nach unten gebogen ist und wobei sich die Röhre nach ersterer hin um ein wenig erweitert. Es bleibt bei der Anfertigung des Instrumentes die obere Kugel offen, so daß man die nöthige Menge Quecksilber und ein Stahlstäbchen hineinbringen kann, welches durch ein kleines Quecksilberkügelchen von der Luft der offenen Kugel abgeschlossen wird. Nun erwärmt man die geschlossene Kugel bis zu einem bestimmten Temperaturgrade etwa 50°, bringt dann über ein Quecksilbertheilchen, das beim Erkalten in die Röhre eintritt, ein zweites Stäbchen und schmilzt nach dem allmäligen Erkalten der Röhre die Kugel zu. Bringt man nun bei der Einstellung jedes der beiden Stahlstiftchen durch einen Magneten mit der Säule in Verbindung, so daß diese Säule die beiden Stiftchen trennt, so werden sie an einer gewöhnlichen Scale, nach der vorher graduirt war, das Maximum und Minimum anzeigen. —

§. 25.

Anwendung der Photographie zum Registriren des Thermometer- und Barometerstandes.

Henry Hennessy ([16]) hat wohl mit zuerst das photographische Papier zur Registrirung des Thermometerstandes angewendet. Er wandte zu dem Zwecke ein

Weingeist-Thermometer mit breiter aber dünner Röhre an, steckte es in einen Schlitz, den er in der Seite einer flachen Büchse angebracht hatte, und schwärzte die Büchse auf jeder Seite der Weingeistsäule. Nun wurde ein Blatt photographischen Papiers (mit Bromkalium und salpetersaurem Silber zubereitet) auf einer Glastafel angebracht, welche mittelst eines Uhrwerks durch die Büchse gezogen werde. Die Glastafel war fast 0,1 Zoll von der Weingeistsäule im Thermometer und fünf Fuß von einem offenen Fenster entfernt. Während nun die Glastafel vor dem Thermometer passirte, wurde ein mehr oder weniger hoher Lichtstrahl auf sie geworfen, je nach der Höhe des Weingeistes in der Röhre oder der Temperatur der sie umgebenden Luft. So wurde ein Schatten gebildet, der durch eine bestimmte Curve begrenzt war. — Die Quecksilberhöhe im Barometer läßt sich mittelst der Photographie noch besser registriren, weil der Schatten breiter als beim Thermometer ist. — Im Jahre 1846 haben sich Collin und Ronalds der camera obscura zum Registriren mit großem Nutzen bedient. Ebenso, nach ähnlichen Principien eingerichtet, sind die Apparate von Ronalds (Repert. von Kew. 1844 u. f.) von Sir Brisbane zu Makerstonn, von Baron Senftenberg, von C. Brooke, wobei zu vergleichen: Lamont: über magnetographische Instrumente.

§. 26.

Das Differentialthermometer.

1) Rumford: Gilb. Ann. Bd. 20 p. 177.

2) Leslie: Gilb. Ann. Bd. 10 p. 88, früher Frorieps Notiz. 20, Nr. 1.

3) Howard und Schmidt: Schweigger. Jahrbuch N. R. 313 p. 119.

4) Bérard: Gilb. Annalen Bd. 46 p. 381.

5) B. Stewart: Description of an instrument for registering changes of temperature. Athen. 1856 p. 1058 und Archiv des sciences phys. 33 p. 60.

6) J. Svanberg: Ueber ein galvanisches Differentialthermometer. Kongl. Vetensk. Akad. Handb. for 1850. Pogg. Ann. 84 p. 411.

7) Wheatstone: Differential-Widerstandsmesser, Pogg. Ann. 62 p. 499.

Da, wo es gilt, kleine Wärmeunterschiede zu beobachten, hat man sich schon in früherer Zeit besonderer Apparate bedient, die man mit dem Namen der Thermoskope und der Differentialthermometer bezeichnet hat. Rumford ([1]) war wohl der erste, der eine Glasröhre zweimal rechtwinklig bog und an beiden Enden dünne Glaskugeln blies (Taf. IV Fig. 5), so daß die in der Röhre durch Karmin rothgefärbte Schwefelsäure nach der andern Kugel sich hinbewegte, sobald die erste Kugel, und mit ihr die darin enthaltene Luft erwärmt wurde, denn die erwärmte Luft übte einen stärkeren Druck auf die Flüssigkeit. Der Temperaturunterschied wurde in Graden eines gewöhnlichen Thermometers angegeben, die an einer Scala neben den Röhren angebracht wurden. Rumford nannte dieses Instrument Thermoscop. Leslie ([2]) änderte es dahin ab, daß er die Flüssigkeitssäule länger machte und nur einen Schenkel der gebogenen Röhre graduirte, so daß neben dem Luftdrucke auch noch das Gewicht der längern Flüssigkeitssäule mitwirkte. Dieses Instrument bezeichnete er als Differentialthermometer. Schmidt und Howard ([3]) füllten die Röhre statt mit Schwefelsäure durch Alkohol oder Aether an und wiesen nach, daß nicht nur eine Ausdehnung der Dämpfe stattfinde, sondern daß sich auch neue Dämpfe bei zunehmender Wärme bilden, welche die Empfindlichkeit sehr vermehren. Mit diesem Thermometer hat Bérard ([4]) die feinen Versuche über das Wärmevermögen der einzelnen prismatischen Farben gemacht und de la Roche zuerst das Transmissionsvermögen der Körper, d. h. das Ver-

mögen der verschiedenen Körper die Wärme durchzulassen nachgewiesen. Daß sie auf diese Weise neben Gay-Lussac und Thénard, neben Ritter und Wollaston die ersten waren, welche in die so wichtigen Untersuchungen über die Beziehungen des Lichtes und der Wärme tiefer eindrangen, soll hier nur angeführt, aber nicht weiter verfolgt werden. — Ritchie hat schließlich die Glaskugeln durch Metallgefäße mit sehr dünnen Wänden ersetzt und dadurch ein sehr empfindliches Instrument construirt. — In der neuesten Zeit hat B. Stewart ([5]) einen noch empfindlicheren Apparat construirt. Er besteht aus zwei Thermometerröhren, deren Durchmesser verschieden sind und sich wie 1 : 4 verhalten, oder ist aus zwei Thermometerröhren zusammengesetzt, von denen die eine elliptisch, die andere kreisrund ist, so daß die große Axe der Ellipse dem Durchmesser des Kreises gleich ist. Beide Röhren, wohl getrocknet, werden so in ein mit Quecksilber gefülltes kugelförmiges Gefäß gestellt, daß ihre Axen mit dem Mittelpunkte der Kugel in einer geraden Linie liegen. Nachdem nun das ganze Instrument luftleer gemacht und nach einem Standartbarometer graduirt ist, wird es horizontal angebracht und man nimmt nun wahr, wie bei einer Temperaturverminderung das Quecksilber in die engere, bei einer Vermehrung in die weitere Röhre tritt, so daß es vorläufig zur Beobachtung über strahlende Wärme ganz vorzüglich und nach geringen Modificationen, die Welsh damit vornehmen will, auch zur Messung von Temperaturfluctuationen sehr geeignet sein soll. — Es wird dieses Thermometer auch als Repetitionsthermometer bezeichnet und beschrieben. —

Wir verlassen diese bis dahin dem Materiale nach aus Quecksilber, Alkohol und Weingeist bestehenden Instrumente und wenden uns zu einer Gruppe von Apparaten, deren Construction auf den Gesetzen des Galvanismus beruht, ohne daß wir hier ausführlicher auf die ganze Theorie zurückkommen. Wir erwähnen hier nur die bis zu einer großen Vollkommenheit gelangte

§. 27.

Thermoelectrische Säule von Melloni,

die bekanntlich aus circa 40 Paaren kleiner Stäbchen aus Wismuth und Antimon, die 32 Millimeter lang, 2,5 Millimeter dick und 1 Millimeter breit und an ihren Enden zusammengelöthet sind, besteht. Durch Firniß oder Seide vor unmittelbarer Berührung geschützt, werden sie durch einen Kupferring, der durch Seide isolirt, gehalten. Die Enden der Kette, der Antimon- und Wismuthstäbchen, stehen mit einem Galvanometer in Verbindung, dessen Multiplicatordraht aus ganz eisenfreiem Kupfer bestehen muß. Die geringste Erwärmung der Löthstellen, sie sei eine directe oder eine Reflexion, bewirkt ein Ausschlagen der Magnetnadel, so daß mit diesem Instrumente jene von Melloni entdeckten Gesetze über die Wärmestrahlung beobachtet worden sind. — Nach Regnault's Untersuchungen sind diese Säulen als Maße für die Temperatur sehr unzuverlässig, können aber zu relativen Messungen angewendet werden und zeigen dann die Differenzen genau an. F. Svanberg [6] hat nach dem Princip von Wheatstone's [7] Differential-Widerstandsmesser einen Apparat construirt, der sich durch eine außerordentliche Empfindlichkeit für Wärmeveränderungen auszeichnet, und dem er den Namen eines galvanischen Differentialthermometers gegeben. Die Construction des Apparates ist folgende: Eine flache Spirale A (Taf. IV. Fig. 6 und 7) aus einem mit Seide übersponnenen Kupferdraht von 0,21 Millim. Durchmesser ist aufgehängt an zwei kupferne Verbindungsschrauben B und C, die befestigt sind in einem hohlen Holzcylinder, welcher von einem Fuße D getragen wird. Der Holzcylinder hat in E und F ein Paar lose Böden, welche wie gewöhnliche Dosendeckel aufgesetzt und abgenommen werden können. Die mit Seide übersponnene Kupferdraht-Spirale ist auf der gegen F gewandten Seite mit Kienruß überzogen. —

Diese Vorrichtung, die nun eben Svanberg Differential-Thermometer nennt, kann in die Leitung AC eines Widerstandsmessers eingeschaltet werden. Wenn nun die Galvanometernadel mittels des Rheochords auf 0° eingestellt ist, so braucht man nur den Deckel F abzuheben und die Hand etwa in einem Fuß Entfernung davor zu halten, so schlägt die Nadel aus. Natürlich hängt die Größe der Nadelabweichung von der Beschaffenheit des Rheomotors ab und Svanberg hat durch verschiedene eruente Einstellungen des Rheochordes geringe Temperaturerhöhungen direct gemessen. —

Wir lassen des gleichen Principes wegen das Contactthermometer von Fourier folgen und führen noch folgende Quellen des Zusammenhanges wegen an: Fourier: Théorie analytique de la chaleur, 1822. Ferner: Resumé théorique de la chaleur rayonnante, Ann. de Chim. et de Phys. Bd. 27, pag. 236. Remarques générales sur les temperatures du globe terrestre, ibid., pag. 130. Les discussions par Poisson et Fourier dans Bulletins universelles des sciences mathématiques, Tom. II. pag. 3, 75 et 135. Sehr kurz im Auszuge: Pogg. Annalen. Bd. 2, pag. 359.

§. 28.

Das Contactthermometer von Fourier.

Annales de Chimie et de Physique. 37. p. 291; im Auszuge Pogg. Ann. 13. pag. 327.

Fourier hat, um Versuche über die Wärmeleitung in dünnen Körpern genau anstellen zu können, ein neues Thermometer construirt, das von wissenschaftlichem Interesse ist und dem er den Namen eines Contactthermometers gegeben hat.

Das Instrument, welches hier zunächst beschrieben wird, hat den Zweck, eine genäherte Kenntniß von dem

Wärme-Leitvermögen der Körper zu geben. Es besteht aus einem kegelförmigen Gefäße von sehr dünnem Eisenblech, das an seiner kreisrunden Grundfläche durch eine Haut von mittlerer Dicke verschlossen und mit Quecksilber gefüllt ist. Ein Thermometer, dessen Kugel in das Quecksilber getaucht ist, giebt für jeden Augenblick die Temperatur der flüssigen Masse.

Die Fig. 1. Taf. V. zeigt die verschiedenen Theile des Instruments. AA ist das conische, mit Quecksilber gefüllte Gefäß; bbb die biegsame, das Quecksilber zurückhaltende Fläche, die in der Rinne gg festgebunden ist; cc das innere, in das Quecksilber getauchte Thermometer, das durch den Pfropfen ll festgehalten wird; D die Unterlage, welche auf eine feste Temperatur, z. B. auf die des Arbeitszimmers, gehalten wird. Der Gebrauch dieses Instruments ist folgender: Zunächst erhitze man das conische Gefäß bis zu einer bestimmten Temperatur, z. B. bis zu 46 oder 47 Grad, lege nun die dünne Platte oder das Blättchen, dessen Leitvermögen man untersuchen will, auf die Unterlage, und setze hierauf das Gefäß mit Quecksilber im Moment, wo das Thermometer z. B. genau 45° zeigt, auf diese Platte; alsdann beobachte man sorgfältig das allmälige Erkalten, durch Aufzeichnung der verflossenen Zeiten und der zugehörigen Temperaturen. An der Theilung des Thermometers müssen sich noch Zehntel eines Grades beobachten lassen.

Das Gesetz der Erkaltung ist durch eine Differential-Gleichung gegeben; der endliche Ausdruck dieses Gesetzes enthält die feste Temperatur der Unterlage, die der umgebenden Luft, und einen Exponenten, welcher von dem Leitvermögen der die Wärme durchlassenden Substanzen abhängt. Man kann also das Maß dieses Vermögens vom Grade der zu verschiedenen Zeitpunkten beobachteten Temperatur ableiten. Man erhält dadurch, wie sich sogleich ergiebt, den Ausdruck für die Bewegung der Wärme.

Wir bezeichnen mit H die Wärmemenge, welche während der Zeiteinheit von der Oberfläche des conischen Gefäßes in die Luft übergehen würde, wenn die Größe dieser Fläche, sowie der Unterschied zwischen der festen Temperatur der Luft und dieser Fläche gleich Eins wäre. Wenn demnach a die Temperatur des erwärmten conischen Gefäßes, s die Größe der Oberfläche und d t das Element der verflossenen Zeit bezeichnet, so hat man $Hs(a-m)dt$ für die Wärmemenge, welche während des Augenblicks d t durch die Oberfläche des Gefäßes in die Luft, deren feste Temperatur durch m bezeichnet ist, übergeht. Man mißt die Wärmemenge dadurch, daß man ausdrückt, wie viele Male sie eine gewisse zur Einheit angenommene Menge enthält; H bezeichnet eine gewisse Anzahl dieser Einheiten.

Man bezeichne mit h die Wärmemenge, welche während der Zeiteinheit die Flächeneinheit durchdringen und aus der erwärmten conischen Masse A in die Unterlage D übergehen würde, wenn der Unterschied zwischen der Temperatur A und der Unterlage gleich Eins (100 Centesimalgrade) wäre. Dann ist $hb(a-n)dt$ die Wärmemenge, welche aus dem Gefäße in die Unterlage übergeht, wenn n die feste Temperatur derselben und b die Größe der mit der Unterlage in Berührung stehenden Fläche bezeichnet. Es drückt also $Hs(a-m)dt + hb(a-n)dt$ die Wärme aus, welche das Gefäß während des Augenblicks dt verliert. Bezeichnet man jetzt mit c die Wärme, welche, zu der in der Masse A bei 0° enthaltenen hinzugefügt, diese Masse von der Temperatur 0° auf die Temperatur 1 bringen würde, so hat man die Differentialgleichung:

$$da = -\frac{1}{c}\,[Hs(a-m)\,dt + hb(a-n)\,dt] \quad \ldots (1)$$

als Ausdruck für die veränderliche Bewegung der Wärme. Man integrirt diese Gleichung leicht, wenn man schreibt:

$$a = P + Qe^{-(Hs + hb)\frac{t}{c}} \quad \ldots\ldots (2)$$

Denn wenn man diesen Werth von a in die Gleichung (1) setzt, verificirt man die Gleichung und man hat nur die Bedingung

$$P = \frac{Hsm + hbn}{Hs + hb}.$$

Bezeichnet man nun mit a_0 a_ϑ $a_{2\vartheta}$ drei auf einander folgende Temperaturen, die man bezugsweise am Ende dreier Zeitabschnitte, von denen jeder gleich ϑ ist, beobachtet, und nennt ρ den Exponentialcoefficienten $\frac{hb + Hs}{c}$, welchen man als unbekannt betrachtet, so kann man den Werth von ρ aus drei beobachteten Temperaturen herleiten, denn man hat:

$$a_0 = P + Q$$

$$a_\vartheta = P + Qe^{-\rho\vartheta}$$

$$a_{2\vartheta} = P + Qe^{-2\rho\vartheta}$$

also:

$$a_0 - a_\vartheta = Q\,(1 - e^{-\rho\vartheta})$$

$$a_\vartheta - a_{2\vartheta} = Qe^{-\rho\vartheta}\,(1 - e^{-\rho\vartheta})$$

und:

$$e^{+\rho\vartheta} = \frac{a_0 - a_\vartheta}{a_\vartheta - a_{2\vartheta}}$$

oder:

$$\rho = \frac{1}{\vartheta}\left\{\log\,(a_0 - a_\vartheta) - \log\,(a_\vartheta - a_{2\vartheta})\right\}.$$

Es folgt daraus, daß man den Werth von ρ oder

$$\frac{hb}{c} + \frac{Hs}{c}$$

durch die folgende Regel kennen lernen werde: Beobachte die Temperaturen a_0, a_ϑ, $a_{2\vartheta}$, nehme die natürlichen Logarithmen von $a_0 - a_\vartheta$ und $a_\vartheta - a_{2\vartheta}$ und

dividire den Unterschied dieser Logarithmen durch die Zwischenzeit ϑ.

Will man, nachdem man eine zwischengelegte Substanz, welcher der Coefficient h zukommt, untersucht hat, mit demselben Instrument eine andere Substanz, zu welcher ein anderer Coefficient h' gehört, untersuchen und mit der ersten vergleichen, so bestimme man, nach der angegebenen Regel und blos mit Anwendung der gemeinen Logarithmen, die den unbekannten Coefficienten $\frac{hb}{c} + \frac{Hs}{c}$ proportionalen Größen. Die Größen Hs bc sind gemeinschaftlich und die beiden Resultate nur durch die Coefficienten h und h' verschieden. Untersucht man also, um sie hinsichtlich ihres Leitvermögens zu vergleichen, hinter einander mehrere verschiedenartige Substanzen, und berechnet man, mittels der obigen Regel, die Zahlen, welche bezugsweise mit einem und demselben Instrumente erhalten sind, so wird man zwar nicht die absoluten Werthe der Coefficienten h, h', h'', h''' . . . . erfahren, wohl aber die successiven Zahlen, deren Anwüchse den Anwüchsen der Werthe h, h', h'', h''' . . . . proportional sind. Mithin sind durch dieses Verfahren die verschiedenen Substanzen nach dem ihnen zukommenden Leitvermögen geordnet, was der directe Zweck der Untersuchung ist, und wenn die Substanzen, welche man vergleicht, ein durch gleiche Grade steigendes Leitvermögen besitzen, so steigen die durch Beobachtung gefundenen Zahlen ebenfalls durch gleiche Grade. Es ist also hinreichend, daß man aus einer sehr großen Zahl von Beobachtungen die äquidistanten Resultate auswähle, um versichert zu sein, daß die diesen Zahlen entsprechenden Werthe des Leitvermögens der Substanzen ebenfalls nach denselben Gesetzen steigen.

Man muß bemerken, daß der Coefficient h nicht allein die Wärmemenge, welche durch die zwischengesetzte dünne Platte oder Hülle geht, in sich faßt, sondern auch die Wärmemenge, welche die biegsame, unter dem Quecksilber des conischen Gefäßes befindliche Fläche durchdringt.

Dieser Zusatz einer Größe zu allen Werthen, welche man vergleichen will, verändert nichts an den so eben angegebenen Folgerungen. Mithin werden die Anwüchse der durch die logarithmische Regel gegebenen Zahlen beständig den Anwüchsen der gesuchten Coefficienten proportional sein.

Betrachten wir gegenwärtig den Fall, wo die Temperatur der Unterlage gleich ist mit der Temperatur der Luft; dieses macht die Verfahrungsarten einfacher und erleichtert die Anwendung. Macht man $m = n$ in dem obigen Werth von P, so findet man $P = m$. Es ist klar, daß in diesem Fall die Temperatur des Gefäßes zuletzt gleich sein muß mit der der Luft. Man muß also in der Gleichung (2) t unendlich setzen, wodurch man findet $a_\infty = m$. Dieses ist wirklich der Fall, wenn $P = m$ ist. Die veränderliche Temperatur a ist folglich:

$m + Qe^{-\rho t}$. Beobachtet man also zwei aufeinander folgende Temperaturen, so kann man dadurch den Exponentialcoefficienten ρ bestimmen. Man hat: $a_0 = m + Q$ und $a_\vartheta = m + Qe^{-\rho\vartheta}$, und wenn man für Q seinen Werth $a_0 - m$ setzt:

$$a_\vartheta = m + (a_0 - m)\, e^{-\rho\vartheta} \text{ oder}$$

$$a_\vartheta - m = (a_0 - m)\, e^{-\vartheta\rho}$$

also:

$$\rho = \frac{1}{\vartheta}\left[\log (a_\vartheta - m) - \log (a_0 - m)\right].$$

Es reicht also hin, daß man $a_0\, a_\vartheta$ beobachte und die Differenz zwischen den gemeinen Logarithmen von $a_0 - m$ und $a_\vartheta - m$ durch die Zwischenzeit ϑ dividire; der Quotient ist proportional dem Werthe von ρ, welcher ist:

$$\frac{Hs}{c} + \frac{hb}{c}.$$

Uebrigens ist der Gebrauch des hier beschriebenen Contactthermometers unvermeidlich Veränderungen unterworfen, welche ohne Zweifel merkliche Unterschiede zwischen der Theorie und Beobachtung herbeiführen. So behält die Unterlage nicht eine ganz unveränderliche Temperatur, und die im Gefäße eingeschlossene, erkaltende Masse befindet sich nicht genau in dem Zustande, welchen die Theorie voraussetzt.

Diese Ursachen und andere, deren Erwähnung hier überflüssig sein würde, scheinen F. in den Resultaten Unterschiede herbeizuführen, die den aufmerksamsten Beobachtungen entgehen würden. Die genäherten Werthe, welche der Gebrauch dieses Instrumentes liefert, reichen jedoch hin, um die verschiedenen dünnen Platten oder Hüllen, die man vergleichen will, nach ihrem Leitvermögen zu ordnen, und dieses ist der Hauptzweck der Untersuchungen. Auch hier wird vor Allem die Leichtigkeit und die Vervielfältigung der Beobachtungen beabsichtigt. Man nehme daher für die erste Temperatur (a_0 — m) einen gemeinschaftlichen Werth, z. B. 40 Centesimalgrade, und für ϑ eine fixe Dauer, z. B. zehn Minuten, und beobachte die Temperatur (a_ϑ — m), welche das Thermometer nach Verlauf dieser zehn Minuten zeigt. Diese Werthe von (a_ϑ — m), welche nach der Natur der Substanzen, welche die Wärme durchdringt, verschieden sind, lehren direct und ohne Rechnung die Reihe der specifischen Leitungsfähigkeiten kennen.

Es ist klar, daß die Dicke der zwischengelegten Platte auf die zu beobachtende Temperatur einwirkt und daß man also diese Dicke in Rechnung ziehen muß. Hier beobachtet man aber nur die gesammte und zusammengesetzte Wirkung, nämlich die Wärmemenge, die nach Durchdringung der zwischenliegenden Flächen vom Quecksilber in die Unterlage übergehen.

Wenn man das Blättchen, welches man zuerst untersucht hat, durch einen dünnen Körper von anderer Natur ersetzt, und man nun von neuem das einer gege-

benen Zeit entsprechende Sinken der Temperatur beobachtet, so findet man, daß dieses Sinken sich auf eine sehr beträchtliche Weise verändert hat, wie gering auch der Unterschied zwischen beiden Blättchen sein mag. Man braucht z. B. der ersten Platte nur ein dünnes Blättchen von einzelnem dünnsten Papier hinzuzufügen, um sogleich einen merklichen Unterschied in dem Sinken der Temperatur zu erhalten. Der geringste Unterschied in der Beschaffenheit des zwischengelegten dünnen Körpers zeigt sich durch eine Aenderung in dem Sinken der Temperatur, und diese Aenderung ist um so mehr also sehr beträchtlich, wenn die Natur der Materie sehr verschieden wird. Wenn man z. B. Leinwand gegen Flanell oder Tuch verwechselt, oder statt eines dünnen Tuches, ein sehr dickes nimmt, so sind diese Unterschiede leicht vorherzusehen und sogar durch das bloße Zeugniß unserer Sinne erkennbar; allein das Instrument dient dazu sie merklicher zu machen, sie zu messen, und was sehr wichtig ist, es giebt uns Anzeigen, die beständig sind, und sich bei Aufstellung derselben Versuche immer in gleicher Weise wiederholen.

Man muß bemerken, daß diese Beständigkeit der Resultate wesentlich davon abhängt, wie vollkommen, mittelst des Druckes der Quecksilbermasse auf die darunter befindliche biegsame dünne Haut, die Berührung geschieht*). Diese Bedingung, welche eine der hauptsächlichsten Schwierigkeiten bei der Construction dieses neuen Instrumentes ausmacht, ist durchaus nothwendig, damit die Angaben desselben regelmäßig auch auf eine große Zahl von Körpern anwendbar werden; ohne sie würde man die verschiedenen Substanzen nicht mit einander vergleichen können, wenigstens wenn man ihnen nicht

*) Zur Anstellung genauer Versuche über das Leitvermögen starrer Platten ist es daher gut, diese nicht auf eine Unterlage von Marmor, die nur einen unvollkommenen Contact gewährt, sondern auf ein Quecksilberkissen zu legen.

vorher eine hinreichend ebene und glatte Fläche giebt, damit die Berührung des Instruments in einer großen Zahl von Punkten stattfindet.

Wir haben soeben gezeigt, wie der Gebrauch des neuen Contactthermometers eine genäherte Messung von dem specifischen Leitvermögen ergiebt. Bei diesen Versuchen muß die Substanz, welche man untersuchen will, in dünnen Blättchen angewandt werden, damit der Einfluß ihrer specifischen Wärme auf den Gang der Erkaltung vermieden sei.

Dasselbe Instrument dient auch zur Anzeige der Wärme im Contact eines Körpers, und mißt gewissermaßen die Empfindung von Wärme und Kälte, welche dieser Contact hervorruft. Zu Versuchen dieser Art braucht man nur das Instrument, wie es angegeben ist, zu erwärmen und es alsdann auf eine dicke Masse von der zu untersuchenden Substanz zu legen. Man bemerkt hierauf, um wieviel Grade die Temperatur innerhalb einer gegebenen Zeit, z. B. innerhalb fünf Minuten, es sinkt.

Die Gebrauchsart des Thermometers führt zu merkwürdigen Resultaten. Die Unterschiede in dem Sinken der Temperatur sind bei verschiedenen Körpern sehr groß. Man setzte z. B. das erwärmte Thermometer auf eine Eisenmasse von 8° und darauf auf eine Sandsteinmasse von derselben Temperatur. Der Unterschied zwischen dem Erkalten in beiden Fällen betrug ohngefähr fünf Grad innerhalb einer Secunde. Der Unterschied ist noch merklicher, wenn man das Eisen mit einem Ziegelstein, oder gar mit Holz vergleicht.

Diese Versuche sind ungemein leicht, denn es brauchen die Massen, auf welche man das Thermometer stellt, nur gleiche Temperatur zu haben. Indessen ist der Vorgang bei dieser Gattung von Versuchen sehr verwickelt, und um ihn ganz genau auszudrücken, muß man auf alle, ihn abändernde Umstände Acht geben. Behandelt man jedoch auf diese Weise Körper, deren specifische Wärme bekannt ist, so kann man sich von

dem ihnen zugehörigen Leitvermögen eine ziemlich richtige Idee machen.

Der Gebrauch des Contactthermometers giebt im Allgemeinen, nur genäherte Werthe vom Leitvermögen; aber für eine große Zahl von Körpern, wie z. B. für Ziegel, Steine, Holz, Zeuge u. s. w. sind diese Messungen auch ganz ausreichend.

Wir haben gesagt, daß man zur Messung des Leitvermögens noch ein anderes Instrument gebrauchen kann.

Die Versuche mit demselben machen die Vorgänge noch merklicher, aber sie erfordern auch mehr Sorgfalt. Sie bestehen nicht, wie die vorhergehenden, in einem Beobachten der successiven Erkaltung eines zuvor erwärmten Körpers, sondern darin, daß man die endliche und feste Temperatur beobachtet, welche die Wärme beim Durchgange durch verschiedene Körper erzeugt. Wir wollen aus diesem Endzustande das Maß für die specifischen Leitungsfähigkeiten ableiten. Diese Einrichtung besteht in der Zwischenlegung eines Quecksilberkissens, welches den Contact der Unterlage mit allen Punkten der Hülle bedingt.

Diese Art einen endlichen Gleichgewichtsstand zu bilden, hat den Vorzug, daß man Resultate erhält, die unabhängig sind von der specifischen Wärme der zwischengelegten Substanzen. Man bringt diese Substanz oder Hülle zwischen die beiden Gefäße, von denen das untere A (Fig. 8, Taf. IV.) beständig in der Temperatur 100° C., und das obere, auf die Substanz gesetzte, B in der Temperatur des schmelzenden Eises erhalten wird. Von dem Leitvermögen der Substanz hängt die Wärmemenge ab, welche von dem Gefäße A in das Gefäß B übergeht. Am Boden des oberen Gefäßes B befindet sich ein sehr empfindliches Luftthermometer, welches die erzeugte Wirkung mißt. Diese Luft, welche sich erhitzt, ist in dem Metallgefäße c c c′ c′ enthalten, deren unterer Theil mit dem auf 100° erwärmten Quecksilberkissen in

Berührung steht, während der obere das schmelzende Eis berührt.

Die in dem Gefäße enthaltene Luft, welche so einerseits der Wirkung des Eises und andrerseits der eines bis 100° C. erhitzten Körpers ausgesetzt ist, erlangt eine mittlere und eine feste Temperatur. Der gefärbte Index c des Luftthermometers steht still, wenn die Wärmemenge, welche durch die Hülle in das Thermometer tritt, genau derjenigen gleich ist, welche diese an das schmelzende Eis abtritt. Dieses Gleichgewicht bildet sich in einigen Secunden, und dieser Endzustand ist es, den man zu beobachten hat.

Die feste, von dem Luftthermometer angezeigte Temperatur hängt offenbar von der Natur der zwischengelegten Substanz ab. Leistet dieser dünne Körper dem freien Durchgange der Wärme wenig Widerstand, so ist die Endtemperatur des Luftthermometers weit größer, als wenn die zwischengelegte Hülle die Wärme sehr leicht durchläßt.

Es giebt für alle Fälle eine sehr einfache Beziehung zwischen der erlangten Temperatur und dem Leitvermögen des zwischengelegten Körpers. Um diese Beziehung auszudrücken, bezeichnen wir, wie bei den früheren Beobachtungen, mit h die Wärmemenge, welche während der Zeiteinheit, durch die Flächeneinheit der Hülle, aus der Masse der Unterlage in das Innere des Luftthermometers übergehen würde, wenn der Unterschied zwischen ihren Temperaturen eins wäre; ferner mit H die Wärmemenge, welche während der Zeiteinheit und durch die Flächeneinheit, von der oberen Fläche c′c′ des Luftthermometers in die darüber befindliche eisige Masse überginge, wenn der Unterschied zwischen der Temperatur der Luft und des Eises eins wäre. Mithin sind $h\,b\,(M-a)\,d\,t$ und $H\,s\,(a-N)\,d\,t$ respective die Wärmemenge, welche während des Augenblicks $d\,t$ aus der Unterlage durch das Stück b der Hülle in die Luft strömt, und die, welche aus der Luft durch das Stück s der oberen Fläche des Thermometers in das Eis über-

geht. Zur größern Allgemeinheit ist hierbei durch M die feste Temperatur der Unterlage bezeichnet, sowie durch N die feste Temperatur der kalten Masse, in welche die Wärme abfließt. Nun stellt sich das Gleichgewicht ein, wenn die von der Unterlage mitgetheilte Wärme genau die Wärme compensirt, welche der Behälter des Thermometers an das Eis abtritt; man hat also die Gleichung h b (M — a) = H s (a — N) und das Verhältniß

$$\frac{h}{H} \frac{b}{s} = \frac{a - N}{M - a}.$$

Man braucht nur a zu messen, um das Verhältniß $\frac{h}{H}$ der beiden relativen Leitvermögen h und H, d. h. der relativen Leichtigkeiten, mit welchen die Wärme von der Unterlage in den Raum des Thermometers und von diesem Raum in die umgebende Masse übergeht, kennen zu lernen. Das Verhältniß $\frac{b}{s}$ muß als bekannt vorausgesetzt werden; es verändert nichts, wenn man die erste Hülle, welcher der Coefficient zukommt, durch eine andere ersetzt, welcher der Coefficient h' entspricht. Gleiches gilt vom Coefficienten H, welcher constant bleibt. Untersucht man verschiedene Körper mit demselben Instrumente, so wird die Temperatur a durch das Luftthermometer gemessen, welches auf verschiedene Weise construirt werden kann.

Wir lassen hier nicht die Rechnung in Bezug auf dieses Instrument folgen, weil sie überdies nicht schwer sich nach der gewählten Construction richtet. Allemal setzt man jedoch voraus, daß dieses Instrument möglichst empfindlich gemacht sei, und daß man die Umstände untersucht habe, die den Stand des Index bedingen.

Was die Werthe von M und N betrifft, welche wir zuvor zu 1 und 0 angenommen, so haben uns wiederholte Versuche gelehrt, daß die Beobachtungen leichter und die Resultate beständiger werden, wenn man zwischen den Zahlen M und N einen geringeren Unterschied

nimmt z. B. $M = \frac{1}{4}$ (80° C.) und $N = \frac{1}{20}$ (15° C.) macht.

Wenn man dasselbe Verfahren hintereinander auf mehrere dünne verschiedenartige Körper anwendet, so findet man die Resultate verschieden nach der Natur des Stoffes, den die Wärme durchdringt. Die Erfahrung zeigt, daß diese Unterschiede sehr groß sind. Die Hinzufügung eines einzigen Blattes Schreibpapier, selbst vom dünnsten, bringt in der Stellung des Index einen Unterschied von mehr denn 20 Linien zu Wege. Fügt man dem ersten Blatte noch ein zweites von demselben Papiere hinzu, so verschiebt sich der Index um mehr als 25 Linien. Diese Verschiebung, welche, wie gesagt, in einigen Secunden vor sich geht, wird sehr groß, wenn die zwischengelegte Substanz die Wärme schwierig durchläßt; bei gewissen Substanzen beträgt sie mehr als 100 Linien.

Man hat mit diesem und dem früheren Instrumente eine große Anzahl verschiedener Substanzen geprüft, z. B. alle Hauptarten von Zeugen, Häuten, Pelzwerken, so wie auch Substanzen wie Glas, verschiedene Metalle in dünnen Blättchen u. s. w. und hat specifische Resultate erhalten, je nach dem Gefüge und der Natur der untersuchten Substanz.

Wenn man die Resultate, welche man mittelst des letzten, füglich Contact-Thermoscop zu nennenden Instrumentes erhält, mit denen vergleicht, welche das zuvorbeschriebene liefert, so bemerkt man, daß die bei dem Thermoscope so merklichen Differenzen sich gleichfalls beim Beobachten der allmäligen Erkaltung des Contactthermometers zeigen; nur werden bei dem ersten Instrumente die Unterschiede durch die Zeit gemessen, und man kann sie daher auf eine bequemere und eben so genaue Weise bestimmen, wie mittelst des zweiten Apparates; die Resultate sind weniger auffallend, aber sie sind auch beständiger, und da dies Thermometer von ungemein einfacher Construction und leichtem Gebrauche ist, so ist es sehr zum allgemeinen Gebrauche geeignet.

Dies Instrument kann zu einer Menge von belehrenden und nützlichen Untersuchungen dienen. Es weist uns Eigenschaften nach, die wir nicht im Stande sind durch den bloßen Gebrauch unserer Sinne zu entdecken. So z. B. hat es F. zur Auffindung einer Thatsache gedient, die er lange vermuthet hatte, nämlich: daß die Wärmemenge, welche durch mehrere aufeinander geschichtete dünne Körper geht, verschieden ist nach der Ordnung dieser Schichtung. So hat F. den folgenden Versuch gemacht: Er setzte das Contactthermometer auf die marmorne Unterlage, von der Dicke eines Blattes Papier auf den Marmor, unter die Tuchscheiben. Das Erkalten des Thermometers in einer gegebenen Zeit betrug jetzt weniger, als bei dem vorhergehenden Versuche. Nun wurde das Kupferblatt zwischen die Tuchscheiben gelegt; dann war die Größe der Erkaltung in gleicher Zeit gerade ebenso groß, als wenn, wie beim ersten Versuch, das Kupferblatt ganz fehlte.

Nun legte er die Kupferscheibe auf die unmittelbar unter der Haut des Contactthermometers befindliche Tuchscheibe, so daß also die Wärme die Hüllen in folgender Ordnung: Haut, Kupferblech, Tuch, Marmor, durchdringen mußte. In diesem Falle war das Sinken des Thermometers beträchtlicher als ohne Kupferscheibe. Mithin hatte die Zwischensetzung dieses Kupferblättchens den Uebergang der Wärme von der Haut in das Tuch erleichtert, und den Uebergang von dem Tuche in den Marmor verringert. So sind die Wirkungen während der ersten 10 Minuten; man muß nur die Resultate mit einander vergleichen, die einem gleichen Zeitintervalle entsprechen.

Nachdem F. diese neuen Versuche über die Leitungsfähigkeit dünner Körper beigebracht hatte, zeigt er noch eine theoretische Bemerkung über die Beobachtungen, die zur Messung dieser Eigenschaft der Körper dienen können.

Wenn die Substanzen, welche man untersuchen will, das Leitvermögen in einem ziemlich hohen Grade besitzen, wie die Metalle, so bestimmt man es durch Be-

obachtung der festen Temperaturen einer prismatischen Stange, deren eines Ende in einer nahe constanten Temperatur erhalten wird. Die Erfahrung hat gezeigt, daß dieser Endzustand mit demjenigen übereinkommt, welchen die Theorie angiebt. Die beobachteten Temperaturen bilden in der That eine recurrente Reihe, aus der man den numerischen Werth des Leitvermögens ableiten kann. Denselben Ausdruck darf man aber nicht auf Körper, wie Marmor, anwenden, deren Leitvermögen sehr schwach ist, selbst nicht auf diejenigen Metalle, welche die Wärme schwierig durchlassen.

Die Erklärung dieser Verschiedenheit ist folgende: In einem Körper von schwachem Leitvermögen erlangen und behalten die Theilchen, welche in einem und demselben auf der Axe des Prismas senkrechten Querschnitt liegen, feste und ungleiche Temperaturen, die von der Axe gegen die Außenfläche hin rasch abnehmen. In Substanzen aber, deren Leitvermögen größer ist, wie z. B. Gold, Silber, Platin, Kupfer nehmen alle Punkte eines und desselben auf der Axe senkrechten Querschnitts beinahe eine gleiche Temperatur an. Dieß ist leicht einzusehen, und könnte als bekannt vorausgesetzt werden; allein die analytische Theorie erklärt es auch auf die deutlichste Weise, wie man aus dem allgemeinen Ausdruck ersehen kann, den F. anderswo von der gleichförmigen Bewegung der Wärme in einem rectangulären Prisma von beliebiger Form gegeben hat; dieselbe Lösung lehrt nämlich, daß wenn das Leitvermögen sehr schwach, oder die Dicke der Stange sehr groß ist, die verschiedenen Punkte eines und desselben senkrechten Querschnitts sehr verschiedene Temperaturen haben. In diesem Falle enthält der Ausdruck für die Temperatur nicht bloß den Abstand von dem Ausgangspunkt, sondern auch die Coordinaten von jedem Punkte des Querschnitts.

Zur Bestimmung des specifischen Leitvermögens solcher Körper, die diese Eigenschaft nur in einem schwachen Grade besitzen, verweisen wir auf das Betreffende in Fourier's théorie de chaleur.

Die in diesem Werke niedergelegten theoretischen Resultate zeigen, daß bei einem ziemlich großen Leitvermögen die beobachteten Temperaturen wie die Glieder einer recurrenten Reihe abnehmen. Wenn aber, bei Körpern von sehr schwachem Leitvermögen, der Versuch Werthe liefert, die durch eine geometrische Reihe ausgedrückt werden, so stimmt die Beobachtung nicht mit der Theorie überein. In diesem Fall ist der Ausdruck von der Art, daß man die subordinirten Glieder nicht vernachlässigen darf. Uebrigens sind für denselben Fall die beobachteten Temperaturen zu gering, als daß man daraus den Werth des Leitvermögens mit Sicherheit herleiten könnte. Die Verfahrungsarten, welche eine genaue Theorie, bei einem Körper von schwachem Leitvermögen, als am geeignetsten zur Messung dieser Fähigkeit nachweist, weichen sehr von denen ab, welche bei metallischen Substanzen zulässig sind; sie bestehen darin, daß man entweder die gleichförmige oder die veränderliche Bewegung der Wärme in Gefäßen beobachtet, die aus verschiedenen Substanzen von verschiedener Dicke gemacht sind.

Metallthermometer und Uhrthermometer.

1) Jahrbücher des polytechnischen Institutes zu Wien Theil I. p. 203.
2) Dingler polytechn. Journ. Th. 41. p. 102.
3) Astronomische Nachrichten Th. VII. 229 Nr. 157 p. 218.
4) Annales de Chim. et de Phys. Th. V. p. 312 und Schweigg Journ. 32 p. 497.
5) Peytal in Institut. 1851. p. 300.
6) Autographen-Thermometer von Kreil. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Academie der Wissenschaften in Wien 1850. Sitzung vom 13. Juni.
7) Brewster. „Ueber Anwendung von Uhren zur Bestimmung der mittlern Temperatur." In: Edinbourgh. Encyclopaed. Art. Athmospherical Clock.
8) Graßmann in Pogg. Ann. Bd. 4 p. 419.
9) Bessel in Astronom. Nachrichten Nr. 169 p. 10.

10) Jürgensen in Kopenhagen construirt ein Uhrthermometer: Gehlen N. Journal Theil VI. p. 500 und compt. rend. 1836 II. p. 143.

Die Idee Metallthermometer zu construiren ist eine alte, die wohl aus der von Martin festgestellten Thatsache hervorgegangen ist, daß wenn man ein gerades Messingstäbchen und ein Eisenstäbchen von gleicher Länge an vielen Punkten zusammenlöthet, diese Verbindung der Metalle bei zunehmender Temperatur sich krümmen und zwar auf der Seite des Eisens eine concave Form annehmen, da sich Messing stärker als Eisen ausdehnt.

§. 29.

Holzmann's Metallthermometer.

Hierauf beruht das von Holzmann construirte Metallthermometer (Taf. IV., Fig. 9), wie es Scholz (¹) angiebt. Ein Doppelplättchen fgh wird aus zwei feinen Metallstreifen, Platin und Messing oder Eisen und Messing gebogen und an dem einen Ende f befestigt.

Das andere Ende drückt auf einen kurzen Hebel b und setzt dadurch den zweiten längern Hebelarm, der einen getheilten Bogen hat, in Bewegung. Dieses greift in ein zweites fein gezahntes Rad ein, welches einen Zeiger trägt, welcher äußerlich, da man einen Deckel über die gebogene Feder decken kann, die Grade an einer Theilung, welche durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer bestimmt ist, anzeigt. Der Zeiger wird nun vorwärts oder rückwärts bewegt, je nachdem das gezahnte Kreisstück des längeren Hebels nach oben oder unten bewegt wird. Auf diesem Principe beruhten auch die nur wenig modificirten Constructionen von Wrench (²) und von Winnerl (³) in Kopenhagen, welcher letztere statt des einen Zeigers einen Schieber in Bewegung setzt, der zwei Zeiger auslöst, von denen der

eine das Minimum, der andere das Maximum der Temperatur anzeigt. — Da dieser Apparat mit einigen Verbesserungen Treffliches leisten würde, so werden ausübende Künstler vielleicht gut daran thun ihn wieder aufzunehmen und durch sinnreiche Modificationen verbessert ihn als neues Maximum- und Minimumthermometer vorzuführen. Da diese Construction jetzt veraltet und eine complicirte ist, so verweisen wir hier auf die Quellen.

§. 30.

Breguet's Thermometer.

Ein brauchbares Instrument in dieser Art hat Breguet ([4]) geliefert (Taf. IV., Fig. 10). Man nimmt einen feinen Streifen, — der Theile einer Linie in seiner Dicke nicht überschreiten darf, und der bei Breguet's Construction im Durchschnitte $\frac{1}{100}$ Linie betrug, — der aus noch drei feinern Streifen von Gold, Silber und Platina zusammengelöthet und schraubenförmig gewunden ist, und setzt ihn verschiedenen Temperaturen aus. Die Spitze bewegt sich auf einem Kreise, dessen Theile vorher genau nach den Graden eines guten Quecksilberthermometers bestimmt sind, und rückt bald rechts, bald links, je nachdem durch die Höhe der Temperatur und durch die verschiedene Ausdehnung der Metalle, die Spitze mit, mehr oder weniger ausgedehnt wird. Es ist wohl einzusehen, daß wenn man auf den Rand der Kreistheilung einen sehr feinen Schieber so hinlegt, daß bei der Temperaturerhöhung, also bei der Ausdehnung der Spitze er fortgeschoben wird, man das Instrument als Thermometrographen benutzen kann. Auf dieser Idee beruht das von Peytal ([5]) construirte Instrument, das also nichts Neues darbietet. Um nur auf einige Abhandlungen aufmerksam zu machen, in welchen dieser Apparat von Breguet wesentliche Dienste geleistet, führen wir an: A. de la Rive: Untersuchungen

über die Eigenschaften der magneto-electrischen Ströme, Bibliothéque univers. N. Ser. T. 14 p. 135 im Auszuge Pogg. Ann. 41 p, 152, Pogg. Ann. 45 p. 163. Eine Modification von Breguet's Instrument beschreibt de la Rive in Pogg. Ann. 40 p. 379 ꝛc. ferner ibid. p. 355 und 515. Ferner de la Rive im Streite gegen Lenz Pogg. Ann. Bd. 54 p. 233 und folgende; ferner Pogg. Ann. Bd. 55 p. 509 ꝛc. —

§. 31.

Autographenthermometer von Kreil.

Kreil (⁶) hat ein Metallthermometer aus Zinkstangen construirt, das er seiner Einrichtung wegen Autographenthermometer genannt hat. Wir lassen hier eine ausführliche Beschreibung folgen, wie er sie selbst gegeben hat. Taf. V., Fig. 2 stellt ein Hebelsystem von drei Zinkstangen dar: in A ist die erste Stange an einem Kloben K L befestigt und trägt an ihrem entgegengesetzten in m das Messingstück m n, das sich um die am Kloben M N befestigte Axe k drehen kann, und mit 2 genau ausgedrehten Löchern m und n 2 Zapfen umfaßt, von denen der eine an der ersten Zinkstange A m, der andere an der andern Zinkstange m, n angebracht ist. Die erste Zinkstange ist 1 Fuß lang, 1 Zoll breit und 2 Linien dick; die zweite Zinkstange ist eben so dick und breit wie die erste, nur um ½ Zoll länger. Sie greift mit dem Zapfen m' wieder in ein genau ausgedrehtes Loch des Messingstückes m' n' ein, das sich um die am Kloben K L festgemachte Axe k' drehen kann. In n' greift die dritte Zinkstange m'' n' ein, welche um 2 Zoll länger, aber eben so breit und dick ist, als die erste, und die in m'', das dritte Messingstück m'' n'' trägt, dessen Bewegung um die feste Axe k'' geschieht. Es ist am entgegengesetzten Ende bei n'' mit dem Drahte in Verbindung, der sich um die Rolle B schlingt und den Zeichnungshebel in Bewegung setzt. Die Axen und

Zapfenlöcher an den Messingstäben sind so angebracht, daß

n k = 3 m k, n' k' = 3 m'k', n'' k'' = 3 m'' k''.

Die Messingstücke stehen zwischen den Zinkstangen und den Kloben, die zweite und dritte Stange haben ihren eigenen Kloben.

Der Zeichnungshebel ist aus Fig. 3 ersichtlich. Sein Ruhepunkt ist in D so angebracht, daß E D = H·2 C D; in E ist der Bleistift — in eine Hülse eingesteckt, die äußerlich ein Schraubengewinde hat, wie bei den andern Autographen. Der Kloben B H, der die Rolle trägt, so wie jene, die die Zinkstangen tragen, K L und M N sind 2 Fuß 3 Zoll von der Mauer entfernt, F ist ein Gewicht, das den Faden spannt.

Da das Zink sich für 80° R. um 0,0033 seines Volumens ausdehnt, so ist die Ausdehnung der ersten Zinkstange für 1° R. = 0,006''' daher

die Bewegung von n für 1° R. . . .	0,018'''
Die zweite Stange n m' = 1,04 F. lang und ihre Ausdehnung für 1° R. ist	0,0062
Bewegung von m' für 1° R	0,0242
Bewegung von n' für 1° R.	0,0726
Stange n'm'' = 1,16', daher Ausdehnung	0,0070
Bewegung von m''	0,0796
Bewegung von n''	0,2388
Bewegung des Bleistiftes = 1,03''' (nämlich 0,2388·4,2).	

Das Ende der Messungstange n'' muß eine Rolle tragen, auf welcher der Draht aufgewunden werden kann, auch kann hier ein Zeiger angebracht werden, der an einem Gradbogen die Temperatur angiebt. Die Zapfen dürfen nicht von Stahl oder Eisen sein. —

§. 32.

Uhrthermometer für mittlere Temperaturen.

Bekanntlich haben Brewster[7] und Graßmann[8] unabhängig voneinander, den Vorschlag gemacht, Uhren mit Pendeln ohne Compensation oder mit entgegengesetzter Compensation, auf deren Gang also die Wärme einen bedeutenden Einfluß haben muß, zur Bestimmung der mittleren Temperatur anzuwenden. Auch hat sich bereits Bessel [9] über die Zweckmäßigkeit eines nicht compensirten Chronometers zu diesem Behufe vortheilhaft ausgesprochen, und zum Belege desselben eine derartige Erfahrung des rühmlichst bekannten Uhrmachers Herrn Kessel's ausgeführt. Es ist dieß aber von dem geschickten Kopenhagner Uhrmacher, Herrn J. Jürgensen [10], geschehen, und derselbe hat darüber der Pariser Academie eine Nachricht mitgetheilt (Compt. rend. 1836, II. p. 143), aus welcher wir das Folgende herausheben wollen.

Der Balancier einer gewöhnlichen Taschenuhr vergrößert seine Dimensionen, wenn die Temperatur steigt, und er zieht sich dagegen zusammen, wenn sie sinkt. Eine Vergrößerung in den Dimensionen des Balanciers führt nothwendig eine Verlängerung in der Dauer seiner Oscillationen herbei, und mithin eine Vergrößerung in dem Gange der Uhr. Eine Zusammenziehung desselben bewirkt ebenso eine Beschleunigung. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, haben die Künstler schon seit langer Zeit die einfachen oder aus vier Speichen mit einem zusammenhängenden Ringe aus einem einzigen Metall gebildeten Balanciers gegen zusammengesetzte Balanciers vertauscht. Man wird sich eine hinreichend richtige Idee von diesen letzteren machen, wenn man sich ein rechtwinkliches Kreuz von einem einzigen Metalle denkt, an dessen vier Enden vier getrennte Bogen befestigt sind, jeder gebildet aus zwei ungleich ausdehnbaren Metallen, die an beiden Enden vernietet sind. Diese doppelten Metallbogen müssen, wenn die Tempe-

ratur sich ändert, nothwendig ihre Krümmung und ihre Lage ändern, und offenbar muß die Bewegung des freien Endes von jedem Bogen gegen das weniger ausdehnbare Metall gerichtet sein, wenn die Temperatur steigt, und im entgegengesetzten Sinn, wenn die Temperatur sinkt. Daraus folgt, daß im Moment, wo in Folge einer Temperaturerhöhung und dadurch bewirkten Ausdehnung die Speichen des Balanciers die an ihnen befestigten Enden der Bogen von der Rotationsachse entfernen, die freien Enden derselben Bogen sich dagegen nach dieser Achse hin bewegen, sobald das ausdehnsamere Metall außerhalb befindlich ist. Befindet sich dagegen das ausdehnsamere Metall innerhalb, so wird das Spiel der aus zwei Metallen gebildeten Bogen die Wirkungen der Verlängerung der Speichen nicht nur nicht schwächen oder ganz aufheben, sondern bedeutend erhöhen.

Das ist in der Hauptsache die Einrichtung des Jürgensen'schen Uhrthermometers. Das äußere Metall ist von Platin, das innere von Messing, und um die Temperaturwirkungen noch mehr zu erhöhen, befindet sich an dem freien Ende eines jeden Bogens noch ein zweiter ähnlich eingerichteter Bogen. Die Empfindlichkeit dieser Uhr ist so groß, daß eine Veränderung von einem Grad in der mittleren Temperatur in dem Gange der Uhr eine Veränderung von fast 32 Secunden innerhalb 24 Stunden bewirkt. Bei dem Gebrauche derselben hat man sie nur in freier Luft aufzuhängen, und zunächst auszumitteln, bei welcher Temperatur sie genau 86400 Schläge in 24 Stunden macht. Der Unterschied zwischen 86400 und der wirklichen Anzahl von Oscillationen, die sie später in 24 Stunden macht, dient dann, mit Hülfe einer von Herrn Jürgensen beigegebenen Tafel, zur Berechnung der mittleren Temperatur, die innerhalb dieses Zeitabschnittes stattgefunden hat. Um den Gebrauch dieser Uhr allgemeiner zu machen, besitzt sie auch ein Metallthermometer, das die jedesmalige Temperatur, und überdieß die Maxima und Minima derselben angiebt.

Becquerel (Compt. rend. XXXV. 754 und Inst. 1852, 378) hat eine Uhr construirt, deren Pendel ein großes Thermometer trägt, so daß bei höherer Temperatur mehr Quecksilber über die Schwingungsaxe des Pendels steigt und die Schwingungen desselben dadurch verlangsamt werden; mittelst dieser Thermometeruhr leitet B. durch Vergleichung mit einer guten Uhr, für einen bestimmten Zeitabschnitt, die mittlere Temperatur desselben ab.

Thermometer zur Bestimmung der Sternenwärme.

Um über die Theorie, die diesem Capitel zu Grunde liegt, Näheres zu erfahren, — da es hier nicht unsere Aufgabe ist, die Theorien zu besprechen, sondern nur über die Instrumente, welche den Theorien einen Ausdruck geben sollen, zu handeln — empfehlen wir die Abhandlungen Fourier's, die in Gilbert's Annalen im 76. Bande enthalten sind, ferner Poisson: Théorie mathématique de la chaleur, Paris 1835, Nr. 196, 197, 200, 227 und 228; ferner vor allem Pouillet in Poggendorffs Annalen, Bd. 45, und die Ansichten von Hopkins, die im Jahrb. für Mineralogie von Leonhard und Braun, Jahrg. 1857, Heft 2, S. 188, niedergelegt sind.

§. 33.

Aktinometer von Pouillet.

Die Wirkung der Sternenwärme ist eine sehr geringe, denn ihre Temperatur ist niedriger, als die geringste an der Erdoberfläche vorkommende Mitteltemperatur, doch darf sie nicht mit den Strahlen zusammengestellt werden, die eine niedrige Temperaturquelle haben, sondern da die Sterne unendlich weit entfernte Sonnen sind, so ist ihre Wärme mit der Sonnenwärme zu ver-

gleichen, und von dieser richtigen Ansicht ausgehend, hat man Apparate construirt, welche diese Wärmemengen messen sollen. — Pouillet hat das Aktinometer construirt, das im Allgemeinen folgendermaßen eingerichtet ist. Gezeichnet Taf. V, Fig. 4.

Ein Thermometer, dessen Kugel $\frac{2}{3}$ frei ist, wird in Federn (Eiderdaunen) eingelegt. Es besteht aus 2 Decimeter weiten Ringen, deren Boden mit Schwanenhaut bespannt ist, und die in einen Cylinder aus Silberblech eingelegt sind, der seinerseits wieder mit Federn umgeben und durch einen zweiten Cylinder umgeben ist. In dem obern Cylinderrande befinden sich seitliche Löcher, durch welche die kalte Luft abfließen kann. Die Beobachtung hat nun eine bestimmte Größe zu ermitteln. Es läßt sich die nächtliche Wirkung der Wärmeausstrahlung zwischen der Atmosphäre und dem Lichtraume einerseits und dem Boden andererseits in der Annahme eines wärmeausstrahlenden Umschlusses zusammenfassen, dessen Temperatur z sein mag. Dann ist nach Pouillet:

$$B\,a^{z} = B\,b\,a^{t''} + (1 - b')\,B \cdot a^{t'}$$

oder

$$a^{z} = b\,a^{t''} + (1 - b')\,{}^{t'}.$$

Wo t′ und t″ die Temperaturen der Umschlüsse, B den constanten Werth = 1,146, a = 1,0077 auf die Scala von Celsius bezogen; dann b und b′ die Absorptionsvermögen der diathermanen Höhe für die Wärmestrahlung der Kugel und des Umschlusses sind. —

Es ist nun Aufgabe das z zu bestimmen. — Dem freien Nachthimmel ausgesetzt, würde das Thermometer bis zur Temperatur z sinken, wenn die Kugel desselben ganz frei daläge; jetzt, da er nur $\frac{2}{3}$ frei ist, zeigt er eine höhere Temperatur. — Pouillet bildete nun, um das Verhältniß zwischen der Temperatur und dem Sinken des Aktinometers zu bestimmen, einen künstlichen Himmel, der aus einem Gefäße von 1 Meter Durchmesser bestand, dessen geschwärzter Boden durch eine künstliche Kältemischung auf verschiedene Temperaturen zwischen — 30° C. und 0° C. gebracht war. Das Aktinometer

wurde nun in verschiedene freie Stellungen seiner Kugel gegen den Boden gebracht und nun die Temperatur der Luft und des Apparates abgelesen. Es ergab sich die Temperatur des künstlichen Himmels, wenn man von der Temperatur der Luft neun Viertel der Senkung des Thermometerstandes im Aktinometer abzog. — Pouillet hat in Paris mehrere Beobachtungen mit dem Instrumente angestellt und die Resultate an früher erwähntem Orte veröffentlicht. — Durch directe Messungen ist es nie gelungen die Wärmestrahlung einzelner Fixsterne oder Kometen nachzuweisen, selbst der Mond zeigte für uns unermeßbare Wärmestrahlen, bis es erst Melloni gelang, die Temperaturerhöhung nachzuweisen. Nach dieser Zeit haben sich Herschel, Althaus und Buiß Ballot in Utrecht vor Allem mit diesen Untersuchungen beschäftigt, so daß wir, da die Details unsern genauern Betrachtungen hier fern sind, von der betreffenden Literatur nur anführen wollen: Herschel's Outlines of astronomy und Repert. of the fifteenthe meeting of the british association for the advancement of sciences 1846. Poggendorff's Ann., Bde. 70, 84 u. 90 und Beer und Mädler: Der Mond, Berlin 1837. Eine möglichst vollständige Literatur für die metereologische Bedeutung des Mondes findet sich: Allgem. Encyclopädie der Physik von Karsten, Bd. IV, p. 109.

Thermometer zur Messung der Intensität der Sonnenstrahlung.

§. 34.

Heliometer von Saussure.

Die erste Methode, die man anwendete, um die Stärke der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche zu finden, bestand in der Vergleichung zweier Thermometer, von denen das eine ein gewöhnlicher Thermometer war, welcher in den Schatten gehängt war und somit nur

die Lufttemperatur anzeigte, während das andere, entweder geschwärzt, oder aus schwarzem Glase geblasen oder mit schwarzer Wolle umwickelt wurde, wie wir es in Lambert's Pyrometrie, Berlin 1779, oder später, als Leslie beide in seinem Differentialthermometer vereinigte, in seinem Essi ou heat, London 1804 oder in Froriep's Notizen, 20, Nr. 1, beschrieben finden, wo er es als Aethrioskop vorführt. — Saussure in Voyages dans les Alpes, Neuchatel 1787 bis 1796, machte eine andere Vorrichtung, indem er einen Kasten nahm, der etwa 1 Fuß tief, 9 Zoll hoch und breit war und nachdem er mit Kork ausgelegt, ihn schwärzen ließ. Ein Thermometer befand sich auf dem Boden des Kastens und die Oeffnung war durch 1,5 Zoll weit voneinander abstehende Glastafeln geschlossen. Indem nun diese Oeffnung der Sonne zugekehrt wurde, verglich man das innen eingeschlossene Thermometer, das nur die directe Sonnenstrahlung erhielt, mit einem freihängenden, und konnte aus der Differenz die nöthigen Beobachtungen erhalten. Diese einfache Theorie finden wir noch ausführlicher erläutert durch Fourier in Gilb. Annalen, 76, p. 375.

Mit diesem Instrumente scheint Saussure allein Beobachtungen gemacht zu haben. Er nannte es Heliothermometer. — Die spätern ähnlichen Beobachtungen, die von Kämtz (Lehrb. der Meteorologie, Bd. III, Leipzig 1836) und Quetelet (Annuaire météorologique de la France pour 1850. Paris 1850) veranstaltet wurden, sind mit Herschel's (zuerst im Raport of de the third meeting of the british association etc. Cambridge 1833 und dann Pogg. Ann., Bd. XXXII, p. 661 veröffentlicht) Aktinometer vorgenommen. Dieses Instrument war folgendermaßen eingerichtet: Ein thermometerähnliches Glasgefäß wird mit einer blauen Flüssigkeit gefüllt (Taf. V, Fig. 5), trägt eine willkürliche Scala und hat einen beweglichen, mit einer Schraube zu regulirenden Boden, indem schon eine geringe Temperaturerhöhung dazu beiträgt, die ganze Röhre mit Flüssigkeit

zu füllen. Unter diesen Umständen kann man je nach Umständen den Rauminhalt vergrößern oder verkleinern. Dieses Gefäß wird auf dem Boden eines innen geschwärzten Kastens befestigt und durch eine Glasplatte vor dem Luftzuge geschützt. — Daß eine ähnliche Idee bei dieser Construction, wie bei dem früheren zu Grunde liegt, ist einzusehen und darf nicht weiter erörtert werden.

§. 35.

Pyrheliometer von Pouillet.

Complicirter ist das von Pouillet (übers. Pogg. Ann., Bd. 45, S. 26) construirte Pyrheliometer (Taf. VI, Fig. 1). Es besteht aus einem Gefäße von sehr dünnem Silber oder Silberblech, ist 14—15 Millim. hoch und hat 1 Decimeter Durchmesser, so daß es 100 Grm. Wasser enthalten kann. Ein Thermometer, das von zwei Ringen c c′ gehalten und von Wasser umgeben wird, ist beweglich, so daß, wenn der Knopf b gedreht wird, sich auch der ganze Apparat um die Thermometerachse dreht. Eine Scheibe d dient, da sie Schatten wirft, zur Stellungs-Orientirung gegen die Sonne, die ihre Strahlen möglichst senkrecht auf die vordere geschwärzte Scheibe werfen muß, während gleichzeitig durch Drehen das Wasser eine gleichmäßige Temperatur annehmen soll. Man operirt nun auf folgende Weise: Nachdem das Wasser ungefähr die Temperatur der Umgebung hat, stellt man das Instrument in den Schatten in der Nähe des Ortes auf, an welchem es directes Sonnenlicht empfangen soll, und zwar so, daß es in beiden Fällen nach demselben Himmelsstücke gerichtet ist. Jetzt beobachtet man etwa vier Minuten lang den Gang des Thermometers und thut ein Gleiches auch in der fünften Minute, in welcher man es hinter einen Schirm stellt. — Jetzt zieht man plötzlich den Schirm fort und läßt fünf Minuten lang das directe Sonnenlicht einwirken, indem man den Gang der Temperatur unter be-

ständigem Umrühren des Wassers wohl merkt. Dann bringt man den Apparat, nachdem man nach Verlauf von fünf Minuten den Schirm schnell vorgeschoben, an die frühere Stellung und beobachtet den Gang der Erkaltung. Aus diesem Verfahren fand Pouillet, daß die in einer Minute von jedem Quadratcentimeter empfangene Wärme 0,2624 t ist. — Fernere Untersuchungen mit dem Pyrheliometer hat noch Althaus angestellt, die in Pogg. Ann., Bd. 90, S. 544, niedergelegt sind. — Auf die Theorie des Apparates kommen wir noch später zurück.

Der Linsenpyrheliometer von Pouillet beruht auf denselben Principien (vergleiche Pogg. Ann., Bd. 45, S. 28), denn es ist demselben Apparate eine Linse von 24 bis 25 Centimeter Apertur und einer Brennweite von 60 bis 70 Centimeter vorgesetzt.

II. Thermometer zur Bestimmung der Erdwärme.

Wenn wir hier das Capitel: „Ueber die Erdwärme" berühren, kann es nicht unsere Absicht sein, speciell die Resultate zu verfolgen, welche sich durch die verschiedenen Untersuchungen herausgestellt haben, da sie nicht dem Zwecke dieser Schrift entsprechen, die sich nur mit den Meßapparaten selbst beschäftigen will. Wir verweisen deshalb in dieser Beziehung auf die früher erwähnten berühmten Abhandlungen von Fourier und Poisson und überhaupt, um die specielle Literatur zu erfahren, auf die allgemeine Encyclopädie der Physik von Karsten herausgegeben, Bd. 21, S. 83 u. ff. — Wenn wir mit Poisson die Temperatur an der Erde als durch vier Wärmequellen bedingt annehmen, so haben wir uns mit den Meßapparaten, durch welche drei der Quellen bestimmt werden, bereits beschäftigt, nämlich mit denen zur Bestimmung der atmosphärischen Wärme — den Thermometern, denen durch Strahlung der Fixsterne, — dem

Aktinometer, und denen durch Strahlung der Sonnenstrahlen — den Heliometern. Es bleibt noch die Messung der vierten Quelle, nämlich die der Eigenwärme der Erde übrig. Zu diesem Zwecke hat man, da, wie leicht einzusehen, eine genaue Beobachtung keine geringe Aufgabe ist, eigene Apparate construiren müssen, durch die man zu möglichst genauen Resultaten gelangt ist. Man kann sich nicht ohne Vortheil des früher erwähnten Thermometers von Walferdin zu dem Zwecke bedienen, und hat es auch gethan, vortheilhafter ist jedoch die Anwendung des Thermometers von Magnus, des Geothermometers.

§. 36.

Das Geothermometer von Magnus.

Das Erdthermometer besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer T A, Fig. 2, Taf. VI, das oben bei T offen und so getheilt ist, daß sowohl der Nullpunkt desselben, als auch der Punkt T und jeder zwischenliegende Punkt den gleichnamigen Punkten irgend einer der bekannten Thermometerscalen entsprechen, so daß, wenn man dieses Instrument, in dieselbe Temperatur mit einem, nach derselben Scale getheilten Thermometer bringt, beide dieselbe Anzahl von Graden zeigen. Erwärmt man nun das Instrument bis zu einer Temperatur, die höher ist als T, so wird ein Theil des in ihm enthaltenen Quecksilbers ausfließen, und bringt man es danach wieder in ein und dieselbe Temperatur mit dem nach derselben Scale getheilten Thermometer (das M. Normalthermometer nennt), so wird es nicht mehr dieselbe, sondern eine niedrigere Anzahl von Graden zeigen, als jenes. Aus der Differenz des Standes, den es wirklich hat, und dem, den es haben sollte und der durch das Normalthermometer angezeigt wird, läßt sich leicht die Temperatur finden, bis zu der es erwärmt gewesen. Denn bei diesem Maximum der Temperatur, das wir

der Kürze wegen mit x bezeichnen wollen, war das Instrument ganz, d. i. bis T, mit Quecksilber gefüllt; es war daher soviel Quecksilber herausgetreten, daß es nur T° zeigte, während das Normalthermometer x° gezeigt haben würde. Es kommt also eigentlich nur darauf an, diese Differenz x — T zu finden. Diese wird man aber leicht beobachten können, wenn man das Instrument mit dem Normalthermometer in eine Temperatur bringt, die geringer ist als x; denn das Instrument wird dann um soviel unter dem Normalthermometer stehen, als es bei der Temperatur x unter demselben gestanden hatte, nämlich um T — x, nur daß dieses T — x die gehörigen Correctionen erleiden muß, da es hier nicht bei der Temperatur x, sondern bei einer niedrigern gemessen wird.

Diese Betrachtung macht es auch zugleich anschaulich, daß zur Bestimmung des Maximums der Temperatur keineswegs gerade das ursprüngliche Quecksilbervolumen, nach welchem das Instrument getheilt worden und das es bei Temperatur 0° gerade bis Null erfüllt, in demselben vor dem Versuche enthalten zu sein brauche; sondern, daß dieses Quecksilbervolumen größer oder kleiner sein dürfe, wenn es nur hinreichend ist, das Instrument bei der Temperatur x° gänzlich, d. h. bis T zu füllen. Dieser Umstand aber, daß die Bestimmung des Maximums unabhängig ist von der Quecksilbermenge, die vor dem Versuch in dem Instrumente enthalten gewesen, macht dasselbe eigentlich erst recht anwendbar. Denn man braucht nur dafür zu sorgen, daß es nicht zu wenig Quecksilber enthalte, ohne daß es auf die Quantität ankommt, die man zu dem Ende einführt, und die ganze Beobachtung besteht nur darin, daß man nach dem Versuche das Instrument mit dem Normalthermometer in ein und dieselbe Temperatur bringt, um den Stand von beiden zu verzeichnen.

Hierzu bedient man sich, in Ermangelung einer andern constanten Temperatur, am besten eines Eimers mit frischem Brunnenwasser, der bis zu der Zeit, wo die Thermometer einen unveränderlichen Stand angenommen

haben, seine Wärme nicht ändert. Die Vergleichung in der Luft könnte durch unvorsichtige Annäherung des Körpers, oder durch Zug und andere zufällige Umstände leicht einen Irrthum veranlassen. Besonders hat man auch darauf zu achten, daß das Instrument, nachdem es den Ort verlassen hat, dessen Temperatur x es annehmen soll, nicht noch höher erwärmt werde, bevor der Stand desselben mit dem des Normalthermometers verglichen ist. Deshalb darf man sich bei den Bohrlöchern oder verlassenen Schächten nicht blos damit begnügen, die Temperatur der größten Tiefe zu untersuchen, sondern man muß auch die von verschiedenen andern weniger tief liegenden Punkten bestimmen, um sicher zu sein, daß das Instrument sein Maximum nicht in einer geringeren Tiefe erreicht habe, als die, bis zu der es herabgelassen worden.

Man sieht leicht ein, daß die Genauigkeit des Instrumentes zunächst davon abhängt, daß von dem Quecksilber, das oben bei T durch die Erwärmung heraustritt, beim Erkalten nichts wieder zurückgehe. Dieses kann man nur erreichen, wenn man das Thermometerrohr bei T ganz fein auszieht und dann scharf abschneidet. Bei den Instrumenten, die M. besitzt, ist die Oeffnung bei T so fein, daß man sie kaum mit bloßen Augen sehen kann. Damit aber jedes daraus hervortretende Quecksilberkügelchen sogleich abfalle, ist die Spitze, wie in Fig. 3, Taf. VI, so gebogen, daß sie horizontal steht. Die Thermometerröhre selbst hat einen ziemlich weiten inneren Durchmesser und der daran geblasene Behälter ist so groß, daß jeder Grad der Scale (die hier die Reaumursche ist) 0,5 Zoll beträgt. Sollte also auch ein Quecksilberkügelchen an der Spitze hängen bleiben, ohne sogleich abzufallen, und sich beim Abkühlen wieder in das Thermometerrohr mit hineinziehen, so ist dieses wegen der Feinheit der Oeffnung, durch die es mit dem übrigen Quecksilber zusammenhängt, doch stets so klein, daß es kaum $\frac{1}{20}$ eines solchen Grades beträgt. Uebrigens kann man bei Anfertigung des Instrumentes mit

einiger Geschicklichkeit es leicht dahin bringen, daß auch jede noch so geringe Menge Quecksilber sogleich beim Heraustreten abfalle.

Die Feinheit der Oeffnung bei T ist keineswegs ein Hinderniß, um neues Quecksilber einzufüllen, wenn etwa zuviel herausgetreten sein sollte. Man legt zu dem Ende das Instrument horizontal, paßt auf die alsdann vertical stehende Spitze einen kleinen Trichter, in den man einige Tropfen ganz reines und vollkommen trockenes Quecksilber gießt, und erwärmt die Kugel, bis das ganze Rohr mit Quecksilber gefüllt ist; läßt man sie alsdann wieder erkalten, so folgt das Quecksilber aus dem Trichter dem in der Röhre befindlichen bei seiner Zusammenziehung. Als Trichter nimmt M. einen gewöhnlichen Kork, der oben so vertieft ist, daß er einige Tropfen Quecksilber faßt, und unten eine kleine Oeffnung hat, mit der er auf die Spitze T aufgepaßt wird. Fig. 5, Taf. VI, stellt einen Durchschnitt desselben dar.

Um nun die für die Scale des Instruments nöthigen Punkte zu bestimmen, füllt man dasselbe auf die eben beschriebene Art mit Quecksilber, und bringt es, ohne den Trichter abzunehmen, mit dem Normalthermometer, nach dessen Scale er getheilt werden soll, in eine beliebige, unveränderliche Temperatur T. Wenn man sicher ist, daß dasselbe diese Temperatur angenommen, nimmt man den Trichter mit dem überschüssigen Quecksilber ab und bringt das Instrument zuerst in fein zerstoßenes Eis, um den Nullpunkt desselben zu bestimmen, und darauf mit dem Normalthermometer in verschiedene Temperaturen, die zwischen 0° und T° liegen, um so viele Punkte der Scale, als nöthig, zu bestimmen. Sind diese Punkte einmal bestimmt, so kommt es nicht mehr darauf an, daß gerade das Quecksilbervolumen, dessen Ausdehnung zu zeigen ist (das schon oben das ursprüngliche Quecksilbervolumen genannt worden ist), in dem Instrumente bleibe, man braucht sich daher nun nicht mehr zu scheuen, dasselbe einer Temperatur auszusetzen, die höher ist als T.

Das Zufüllen von Quecksilber wird sehr erschwert, wenn das Thermometerrohr inwendig feucht werden sollte; man muß deshalb dafür sorgen, daß besonders beim Hinablassen des Instruments in Wasser von diesem nichts durch die Oeffnung bei T eindringen könne. Um dies zu vermeiden, befestigt Magnus über die Röhre und die daran befindliche Messingscale eine enge Glasglocke k k', Fig. 4, Taf. VI, deren oberes verschlossenes Ende die Spitze bei T so nahe als möglich berührt, und versieht dieselbe unten mit einer Oeffnung, damit das Wasser, wenn das Instrument in dasselbe hinabgesenkt wird, ungehindert seinen Druck auf die in der Glocke befindliche Luft ausüben könne. Wird diese nun hierdurch auch zusammengedrückt, so kann diese Zusammendrückung doch niemals soweit gehen, daß das Wasser die Oeffnung bei T erreichen könnte.

Der Druck, der in der Tiefe auf das Instrument ausgeübt wird, wirkt auf das Thermometer sowohl von außen, als auch durch die Oeffnung bei T von innen. Dieser Druck mag daher noch so stark werden, man hat niemals eine Beschädigung des Glases dadurch zu befürchten.

Allein da das Glas und das Quecksilber demselben Druck ausgesetzt werden, die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers aber bedeutender ist, als die des Glases, so wird um so viel weniger Quecksilber aus der Oeffnung bei T heraustreten, als der Unterschied der Zusammendrückbarkeit beträgt. Colladon und Sturm haben diese Größe bestimmt, und gefunden, daß sie für den Druck von einer Atmosphäre 1,75 Milliontheile des angewandten Quecksilbervolumens beträgt. Hieraus kann man leicht berechnen, wie viel Quecksilber zu wenig aus dem Instrumente entwichen ist, und danach die Beobachtung corrigiren.

Man braucht zwar die Thermometerkugel des Instruments nicht größer zu machen, als die eines gewöhnlichen Thermometers, allein die zunehmende Größe derselben, von der auch die Größe der einzelnen Grade der

Scale abhängig ist, vermehrt die Genauigkeit, ohne Uebelstände herbeizuführen; da man doch jedenfalls das Instrument so lange an der zu untersuchenden Stelle lassen muß, bis auch die größere Quecksilbermasse die Temperatur derselben vollständig angenommen hat, wozu beiläufig nur etwa eine Viertelstunde erforderlich ist. Allein je größer die Kugel ist, um so leichter ist sie auch dem Zerbrechen ausgesetzt; man muß daher Sorge tragen, sie gehörig zu verwahren. Dieses glaubte **Magnus** am besten auf die Weise zu erreichen, daß er statt der Kugel einen cylindrischen Quecksilberbehälter wählte und denselben zwischen zwei Messingscheiben f und g, Fig. 3, Taf. VI, einschließt, die durch drei Schrauben ac, bd u. s. w. mit einander verbunden sind; in jede der beiden Scheiben ist eine Korkplatte eingelassen, so daß der Cylinder nur von den Korkplatten berührt wird, in die er etwas versenkt wird. Der obere Kork ist durchbohrt, und durch eine Oeffnung desselben geht das Rohr des Thermometers. Auf diesem sind die nach dem Normalthermometer bezeichneten Punkte mit einem Diamant verzeichnet, damit, wenn man das Instrument aus einander nehmen sollte, man sich immer wieder überzeugen könne, daß dieselben auch wirklich gerade über den entsprechenden Punkten der Messingscale liegen. Sollte dieses nicht genau der Fall sein, so kann man es leicht dahin bringen, indem man die Schrauben ac, bd u. s. w. ein wenig anzieht oder nachläßt, wodurch die Messingscale, die nur auf die obere Platte cd aufgeschraubt ist, dem Cylinder genähert oder von ihm entfernt wird.

Die Platte cd ist bei fg mit einem Schraubengewinde versehen, um auf dieses die Messinghülse h zu schrauben, in welche die Glasglocke hk eingekittet ist. Diese Messinghülse hat eine kleine Oeffnung, damit das Wasser bei vermehrtem Druck ungehindert in die Glocke eintreten könne.

Um nun den genauen Werth von x, der gesuchten Temperatur, zu finden, so bezeichne man das ursprüngliche Quecksilbervolumen, wonach das Instrument getheilt

worden, und das es bei 0° bis zum Nullpunkt füllt, mit V; und das Quecksilbervolumen, das nach dem Versuche in dem Instrumente enthalten ist, gleichfalls bei der Temperatur 0° betrachtet, mit V'; ferner sei t die Temperatur, in welche das Instrument zur Vergleichung mit dem Normalthermometer nach dem Versuche gebracht wird, und t' die Anzahl von Graden, welche das Instrument bei dieser Temperatur einnimmt; endlich sei $\frac{1}{\delta}$ die Ausdehnung des Quecksilbers für einen Grad der Scale, nach welcher das Instrument getheilt worden ist, so hat man folgende Gleichung:

$$V'\left(1+\frac{t}{\delta}\right)=V\left(1+\frac{t'}{\delta}\right),$$

weil das Volumen V' bei der Temperatur t denselben Raum einnimmt, den V, als das Instrument getheilt wurde, bei der Temperatur t' einnahm.

Ferner hat man die Gleichung:

$$V'\left(1+\frac{x}{\delta}\right)=V\left(1+\frac{T}{\delta}\right),$$

denn bei der Temperatur x hatte sich V' so ausgedehnt, daß es das ganze Instrument erfüllte, d. h. denselben Raum einnahm, den V bei der Temperatur T eingenommen.

Dividirt man die obigen Gleichungen durcheinander, so erhält man:

$$\frac{1+\frac{t}{\delta}}{1+\frac{x}{\delta}}=\frac{1+\frac{t'}{\delta}}{1+\frac{T}{\delta}}$$

oder:

$$\frac{\delta+t}{\delta+x}=\frac{\delta+t'}{\delta+T},$$

woraus sich ergiebt:

$$x = \frac{\delta + T}{\delta + t'} (\delta + t) - \delta,$$

oder:

$$x = \frac{(t - t' + T)\,\delta + t\,T}{\delta + t'}.$$

Da Colladon und Sturm den Unterschied in der Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers und des Glases für den Druck einer Atmosphäre von 0,76 Meter Quecksilber oder 10,32 Meter Wasserhöhe zu $\frac{1,73}{1000000}$ gefunden haben, so beträgt die Quecksilbermenge, die durch den Druck von einer solchen Atmosphäre verhindert wird, aus dem Instrumente zu entweichen, $\frac{1,73}{1000000} \cdot V'$ und wenn man diese Größe in Graden des Instruments ausdrückt: $\frac{1,73 \cdot V'}{1000000} \cdot \frac{\delta}{V}$ Grade. Da nun V' nur um sehr wenig von V unterschieden ist, so kann man beide, ohne einen Fehler zu begehen, einander gleich setzen und erhält dann: $\frac{1,73}{1000000} \cdot \delta$.

Bezeichnet nun h die Höhe der Wassersäule, die, wenn das Instrument in die Tiefe hinabgelassen wird, auf dieselbe drückt, so ist, da 10,32 Meter = 32,8 preuß. Fuß: $\frac{h}{32,8}$ diese Höhe in Atmosphären ausgedrückt, und folglich ist $\frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$ die Anzahl von Graden, um die sich das Quecksilber weniger ausgedehnt hat, als es sich ausgedehnt haben würde, wenn es diesem Drucke nicht ausgesetzt gewesen wäre, man muß daher diese Größe noch zu dem obigen Werthe von x hinzufügen, wodurch dieser dann wird: $x = \frac{(t - t' + T)\,\delta + t\,T}{\delta + t'}$

$+ \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta\, h}{38,8}$. Da δ für alle gebräuchliche Thermometerscalen, selbst der Fahrenheit'schen, sehr groß ist in Vergleich mit t, t' und T, so sind die nicht mit δ multiplicirten Glieder sehr klein, in Vergleich mit den übrigen, und können daher gänzlich vernachlässigt werden, wodurch man erhält:

$$x = t - t' + T + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta\, h}{32,8}.$$

Später hat Magnus eine Veränderung mit dem Instrumente vorgenommen, die im Allgemeinen Folgende ist: Er schmilzt um die feine Oeffnung des Thermometers, die gebogen ist, ein kleines Glasgefäß und gießt soviel Quecksilber hinein, daß die Spitze frei herunterhängt und aus ihr bei der Erwärmung Quecksilber heraustreten kann. Neigt man jedoch den Apparat und kühlt die Kugel durch kaltes Wasser ab, so tritt eine hinreichende Menge Quecksilber ohne weiteres hinein und füllt die enge Röhre, eine Operation, die sonst sehr schwierig ist, jetzt jedoch leicht überwunden wird und eben eine vortheilhafte Verbesserung ist. —

§. 37.

Maß der Erdwärme durch electrische Ströme.

Man hat auch die früher erwähnte Thermokette angewendet, die Temperatur der Erde in verschiedenen Tiefen zu finden. Das Princip, auf welchem die Messung beruht, ist nun etwa folgendes: Man bildet eine Kette aus nur zwei Metallen, etwa Kupfer und Eisen, und versenkt das eine Ende in die Erde, das andere bringt man in ein Gefäß mit Flüssigkeit, dessen Temperatur regulirt werden kann.

Man schaltet nun einen Multiplicator ein und erwärmt die obere Löthstelle in Wasser so lange, bis sich

keine Ablenkung der Nadel zeigt, dann hat nach den Principien der Thermoelectricität diese Löthstelle dieselbe Temperatur, wie die in der Erde. — Es scheitert diese hübsche Anwendung des Thermobogens an der großen Heterogenität der Metalle, denn namentlich ist das Eisen an einigen Stellen kohlenstoffreicher, als an andern, und es entstehen somit unwillkürlich mehrere Löthstellen, die störend einwirken. — Neumann in Königsberg wendet deshalb die Thermoketten zu diesen Zwecken mit der Modificirung an, daß er viele dünne Drähte von derselben Kette nebeneinander legt. Da nun in der Vertheilung der Ungleichheiten keine Regel stattfindet, so wird an derselben Stelle in dem einen Drahte ein positiver, in dem andern ein negativer Strom erzeugt werden, die sich aber bei einer größeren Anzahl von Drähten, etwa 20 bis 30, compensiren werden. Auf diese Weise werden jene vorhin erwähnten störenden Einflüsse beseitigt und man liest an der Multiplicatornadel die Veränderungen der Temperatur ab.

III. Thermometer zur Bestimmung der Temperatur der Wasserschichten.

1) Hales, in Philosoph. Transactions for 1790. Vol. 47. p. 213.
2) Parrot, in Gilbert's Annalen, Bd. 68, pag. 266.
3) Gay-Lussac, in Ann. de Chim. et de Phys. Tom. III. pag. 91 et 112, und Gehler's Lexicon, Bd. 9, pag. 973.
4) Saussure: Voyages dans les Alpes f. 1392.
5) Péron: Gilbert's Annalen, Bd. 19. pag. 430.
6) Aimé: Ann. de Chim. et de Phys. Ser. 3, und daraus in Encyclopädie der Physik, von Schmidt. Thl. 21. pag. 183.

§. 38.

Bucket-Sea-Gage von Hales, und Bathometer von Parrot.

Es ist schon in früheren Zeiten eine Beobachtung der Meeres- und Flußtiefen angeregt und auch ausgeführt worden. Hales ([1]), jener um die Naturwissenschaften vielfach verdiente Mann, war einer der ersten, die einen Hohlcylinder mit einwärts schlagenden Ventilen construirten, — ein Bucket-Sea-Gage —, diesen in die Tiefe senkte, so daß beim Versenken die Ventile aufklappten und beim in die Höhe Ziehen sich schlossen, und die Flüssigkeit emporbrachten, so daß dann noch die Temperatur des Wassers als constant betrachtet und mit einem gewöhnlichen Thermometer gemessen wurde. Obwohl viele Physiker diesen für erwähnte Zwecke unbrauchbaren Apparat noch verbesserten, zeigte er sich schließlich durchaus unpractisch, und wurde deshalb nur im Allgemeinen von Parrot ([2]) als Bathometer gebraucht. Ein Blechcylinder wurde oben und unten durch Kegelventile, die mit einander durch eine Eisenstange verbunden waren, geschlossen. An dieser Stange befand sich ein Thermometer. Der Cylinder war, um die Temperaturveränderungen des eingeschlossenen Wassers auf ein Minimum herabzubringen, mit verschiedenen Lagen von Blech und grobem Tuche, dieses in einer Mischung von Talg und Wachs getränkt, und schließlich mit überfirnißter Leinwand umgeben. Trotzdem ist nach vielfachen Versuchen von Lenz eine Correction der vom Thermometer abgelesenen Temperatur nothwendig gewesen. Nimmt man nämlich, da das Meerwasser nicht von constanter Temperatur ist, an, daß die Temperaturabnahme nach der Tiefe stetig ist, so daß sich der Apparat in einer Mitteltemperatur x bewegt, so ist, wenn ϑ die Temperatur der Meeresoberfläche und τ die Temperatur des im Instrumente eingeschlossenen Wassers aus der Tiefe bezeichnet:

$$\log (\vartheta - x - \tau) = \log x - at,$$

woraus

$$x = \frac{10^{at} (\vartheta - \tau)}{1 + 10^{at}}.$$

Auch die Tiefe der Versenkung hat man bestimmt, indem man nicht nur die Länge eines von einer Rolle abgewundenen Taues bestimmte, sondern auch diese noch mit cos α multiplicirte, indem α der durch Ablenkung des Taues von der Senkrechten entstandene Winkel ist.

Viele Beobachtungen sind mittelst des vorhin besprochenen Six-Thermometers gemacht worden, doch zählen sie zu den ungenauen, indem auf das Zusammendrücken des Quecksilbers in der Meerestiefe durch das Wasser keine Rücksicht genommen ist, ferner der Index durch das Stoßen beim in die Höhe Winden eine ganz andere Stellung als die richtige einnimmt. Aus ähnlichen Gründen ist auch das von Gay-Lussac ([3]) zum Messen der Tiefen in den Seen construirte Thermometer nicht zur Anwendung gekommen. Wir wollen es hier nur erwähnen, da einmal die Idee der Construction des Magnus'schen Geothermometers zu Grunde liegt, und die große Fehlerquelle, die sich beim Beobachten ergiebt, den Apparat untauglich macht. — Auch Saussure ([4]) construirte einen Apparat, um die Tiefe des Wassers zu messen, indem er sich eines durch eine Umgebung der Kugel von Wachs, Harz und Oel träge gemachten Weingeistthermometers bediente und ebenso Péron ([5]), der die Quecksilberthermometerkugel mit Kohlenstaub und getheerter Leinwand umgab. Indeß sind diese Beobachtungen, die mit diesen Apparaten gemacht sind, zu umständlich und zu ungenau. Die guten und zu diesem Zwecke allein brauchbaren Thermometer sind von Aimé ([6]) angegeben und gründen sich auf das Princip der Umlegung. —

§. 39.

Thermometer Aimé's für Minima und Maxima.

Das Thermometer Aimé's für Minima (Taf. VII, Fig. 1) ist zusammengesetzt aus einem weiten mit Alkohol gefüllten Gefäße, einer engen Thermometerröhre, einer weitern umgebogenen Röhre und zwei Gefäßchen, deren erstes mit der Röhre durch eine enge Oeffnung, das zweite damit durch eine feine Spitze in Verbindung steht; das erste enthält Quecksilber und Alkohol, das zweite Quecksilber, Alkohol und Luft. —

Befindet sich das Gefäß oben, während die engere und weitere Röhre allein mit Alkohol gefüllt sind, und kehrt man um, so wird, wenn die Temperatur sinkt, Quecksilber aus dem Gefäßchen in die weitere Röhre übertreten und zwar um so mehr, je größer die Temperaturabnahme war. Man bestimmt nun dieselbe, indem man das Quecksilber in den engern, mit einer Scale versehenen Theil der Röhre gleiten läßt. — Das Maximumthermometer (Taf. VII, Fig. 2) hat ein weites mit Alkohol und Quecksilber gefülltes Gefäß, welches durch eine enge Oeffnung mit einer weiten umgebogenen Röhre in Verbindung steht. An diese weite ist eine engere Röhre angesetzt, welche durch eine feine, umgebogene Spitze in ein kleines Gefäßchen mündet. Stellt man nun dieses nach oben, so wird bei steigender Temperatur eine entsprechende Menge Quecksilber in die weite Röhre gedrückt werden, welche man mißt, indem man sie durch Erschütterung in die enge mit einer Scale versehene Röhre gleiten läßt. — Vor der Beobachtung müssen natürlich die Röhren beider Instrumente quecksilberlos gewesen sein. — Man schafft das Quecksilber aus dem Gefäße des Minimumthermometers und in das Gefäß des Maximumthermometers durch abwechselndes Eintauchen in Wasser von nahe 0° C. und von etwa 50° C. —

Will man nun die Messung mit diesem Apparate vornehmen, so hat man bei geringen Tiefen beide Instrumente in eine Glasröhre einzuschmelzen, sie vorher so zu stellen, daß kein Quecksilber in die Röhre gelangen kann, und die betreffende Röhre mit beiden Thermometern zu versenken. Bei größeren Tiefen müssen sie in einen Metallkasten, der durch eine kurze Schnur an das Ende eines Auslösungsapparates befestigt ist, in der früher erwähnten Lage eingelegt werden. An der tiefsten Stelle erfolgt die Umkehrung durch den Auslösungsapparat. Dieser ist am einfachsten folgendermaßen construirt. Es ist eine kurze Metallbüchse, an deren Boden ein Ring zur Anknüpfung des Thermometerbehältnisses angebracht und an deren Deckel die Sondenschnur befestigt ist. Durch den Deckel geht mit gelinder Reibung ein innerhalb der Büchse hakenförmig umgebogener Draht, der den Ring der Thermometerbüchse faßt, indem die Auslösungsbüchse seitlich einen Ausschnitt hat (Taf. VII, Fig. 3). Soll nun die Umkehrung erfolgen, so läßt man einen über die Sondenschnur laufenden Bleiring hinab; dieser fällt auf die Platte am obern Ende des Hakendrahtes, stößt ihn hinab und löst dadurch den Ring der Thermometerbüchse aus. (Taf. VII, Fig. 4.) —

Wir gehen nun noch zu einem speciellen Falle über, **der bei allen thermometrischen Beobachtungen insofern von Bedeutung ist, als secundäre Einflüsse vorhanden sind, die den Grad der Genauigkeit bei der wahren Temperatur schwächen. —**

§. 40.

Bestimmung der wahren Lufttemperatur, mit Beseitigung der secundären, ausströmenden Wärme.

1) Methode zur genauen Bestimmung der Lufttemperatur von Liais, Compt. rend. T. 33 p. 207 und Pogg. Ann. Ergänzbd. III, p. 316.

2) Note sur la manière d'obtenir la température de l'air par E. Blum, Compt. rend. 40, p. 1083—1085. Instit. 1855, p. 165—166.

3) Sur les moyens d'obtenir la température de l'air par Viard. compt. rend. 40, p. 1110—1111. Instit. 1855, p. 175—177.

4) F. Henrici: Ueber den Einfluß der Bodennähe auf die Anzeigen der im Freien aufgehängten Thermometer. Pogg. Annalen, Bd. 97 p. 319 ꝛc.

Folgen wir zunächst ausführlicher der Bestimmung von Liais.

Wie bekannt, steht ein der freien Luft ausgesetztes Thermometer unter beständigem Einfluß der von den umgebenden Körpern ausgestrahlten Wärme, und die von demselben angezeigte Temperatur kann deshalb nur annäherungsweise als die richtige Temperatur der Luft betrachtet werden. Es ist indeß für die Metereologie sehr wichtig, diese Temperatur zu kennen. Noch größer ist die Wichtigkeit für die Astronomie, wegen des Einflusses der Lufttemperatur auf die Strahlenbrechung. Es ist daher interessant, eine Methode aufzusuchen, mittelst deren man diese Temperatur genau erhalten könnte.

Zu dem Ende denke man sich drei gleiche Thermometer, versehen mit sorgfältig verglichenen Scalen. Wenn man diese drei Thermometer an einer gegen Norden liegenden und mit einem gleichmäßigen Ueberzug versehenen Mauer, etwa 1 Meter von einander entfernt, ähnlich aufhängt, wenn bis zu mehreren Metern Abstand keine andern Mauern oder keine Bäume vorhanden sind, welche auf die Strahlung einwirken könnten, und endlich wenn der Boden bis zu mehreren Metern von der Mauer mit einer gleichförmigen Vegetation bedeckt oder auch ganz kahl und von gleicher Natur ist, wird man ohne merklichen Fehler annehmen können, daß diese drei Thermometer eine gleiche Menge strahlender Wärme aufnehmen. (Zur größeren Sicherheit könnte man neben jedem Thermometer zwei Schirme anbringen, einen auf jeder Seite, um den aus ihrer Nachbar-

schaft entspringenden Mangel an Regelmäßigkeit zu zerstören. Die Schirme könnten auch angewendet werden, um die Ungleichheit der Wirkung benachbarter Körper zu vernichten, im Fall man die vorher angegebenen Bedingungen nicht verwirklichen könnte.) Dies gesetzt, denke man sich die Kugel jeder dieser drei Thermometer überzogen mit einer Substanz von anderem Emissionsvermögen sie seien f, f', f''. Wenn alle Körper, die im Stande wären strahlende Wärme zu den Thermometern zu senden, gleiche Temperatur wie die umgebende Luft hätten, würde jedes der drei Thermometer diese Temperatur richtig angeben. Allein dem ist nicht also und sie zeigen nun verschiedene Temperaturen.

Nennen wir also A den unbekannten Unterschied zwischen der von allen benachbarten Körpern auf jedes der Thermometer gesandten Menge strahlender Wärme, und derjenigen, welche sie senden würde, wenn sie gleiche Temperatur wie die umgebende Luft besäßen. Wegen der Gleichheit der Emissions- und Absorptionsvermögen absorbirt von dieser strahlenden Wärmemenge A das erste Thermometer eine Menge A f, das zweite eine A f' und das dritte eine A f''. Wegen dieses Ueberschusses von absorbirter Wärme A f nimmt das erste Thermometer einen uns unbekannten Ueberschuß t über die Temperatur der umgebenden Luft an. Nennen wir a und b die Temperaturunterschiede des ersten und zweiten Thermometers mit dem ersten Unterschiede, welche die Beobachtung kennen lehrt, so wird der Ueberschuß des zweiten Thermometers über die Temperatur der umgebenden Luft sein $= t + a$, der des dritten $= t + b$. Bemerken wir nun, daß, zum Gleichgewicht, die vermöge des Temperaturüberschusses vom ersten Thermometer verlorne Wärmemenge gleich A f sein muß, die vom zweiten Thermometer vermöge des Temperaturüberschusses $t + a$ verlorne gleich A f', und endlich die vom dritten vermöge des Ueberschusses $t + b$ gleich A f''. Die von jedem Thermometer verlorne Wärmemenge

wird aber aus zwei Theilen bestehen, einen durch Strahlung verlornen, und einen durch Berührung mit der umgebenden Luft fortgenommenen. Für einen gleichen Temperaturunterschied ist die durch Strahlung verlorne Wärmemenge proportional dem Emissionsvermögen; auch kann man, ohne merklichen Fehler, die durch Strahlung verlorne Wärme als proportional den Temperaturüberschüssen betrachten, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall nur wenige Grade betragen.

Nennen wir also $m f t$ die vom ersten Thermometer vermöge seines Temperaturüberschusses t verlorne Menge strahlender Wärme, so wird die vom zweiten vermöge seines Ueberschusses $t + a$ verlorene sein $= m f' (t + a)$, und die vom dritten vermöge seines Ueberschusses $t + b$ verlorne $= m f'' (t + b)$. Was die durch Berührung der Luft verlorne Wärmemenge betrifft, so ist sie unabhängig von dem Emissionsvermögen der Oberfläche, und man kann sie ohne merklichen Irrthum als proportional betrachten dem Ueberschuß der Temperaturen der Thermometer über die der umgebenden Luft, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall, nur wenige Grade betragen; dies ergiebt sich, wie bei der strahlenden Wärme, wenn man die Ausdrücke für die Erkaltung in Reihen entwickelt.

Nennen wir also $n t$ diese Wärmemenge für das erste Thermometer, so wird sie $n (t + a)$ für das zweite, und $n (t + b)$ für das dritte sein. Wir haben also die drei Gleichungen:

$$A f = m f t + n t$$
$$A f' = m f' (t + a) + n (t + a)$$
$$A f'' = m f'' (t + b) + n (t + b)$$

Dividirt man die erste durch $m f$, die zweite durch $m f'$ und die dritte durch $m f''$, setzt $\frac{n}{m} = k$ und eliminirt $\frac{A}{m}$, so hat man die beiden Gleichungen:

$$\frac{k}{f} t = a + \frac{k}{f'} (t + a)$$

$$\frac{k}{f} t = b + \frac{k}{f''} (t + b)$$

Die beiden Gleichungen enthalten nur die beiden Unbekannten k und t, und lassen sich unter folgende Form bringen:

$$k (f' t - f t - a f) = a f f'$$
$$k (f'' t - f t - b f) = b f f''$$

Dividirt man die eine dieser Gleichungen durch die andere, so fällt k heraus und man erhält eine Gleichung ersten Grades in t, woraus sich ergiebt

$$t = \frac{a b f (f'' - f')}{b f'' (f' - f) - a f' (f'' - f)}$$

Zieht man von der durch das erste Thermometer angegebenen Temperatur diesen Werth von t ab, welcher positiv oder negativ sein kann, je nachdem die benachbarten Körper wärmer oder kälter als die Luft sind, so erhält man die richtige Temperatur der Luft.

Renou ([2]) macht folgenden Vorschlag: er will jedes stationäre Thermometer je nachdem mit drei oder mehreren cylindrischen Röhren umgeben, von denen die innersten geschwärzt sind, die andern jedoch so beschaffen, daß darin ein Luftstrom circuliren kann. Durch Bewegung des Thermometers mit seinen Hülsen, oder wenn diese fest sind, durch einen auf mechanische Weise hervorgebrachten Luftstrom erhält man die genauere Lufttemperatur. Bei tragbaren Instrumenten soll ein Cylinder von schwarzer Seide zum Schutz gegen die Strahlung vollständig hinreichend sein. Aehnlich ist auch die von Birard ([3]) angegebene Vorrichtung, jedoch sucht er zugleich in dem Röhrenapparate, in dessen Axe das Thermometer angebracht ist, durch die Flamme einer Weingeistlampe, gegen deren Einwirkung das Thermometer gesichert ist, eine Luftcirculation hervorzubringen.

Eine Vergleichung der Angabe seines Thermometers im Röhrenapparate mit denen eines gewöhnlichen unter verschiedenen Umständen veranlassen den Verfertiger zu dem Schlusse, daß durch diesen Apparat die Lufttemperatur am sichersten angegeben werde. — Wir unserseits verweisen jedoch auf die Betrachtungen von Liais. —

Schließlich führen wir noch die Beobachtungen von F. Henrici (⁴) an; derselbe welcher schon Pogg. Ann. Bd. 50 p. 251 Mittheilungen über das Sinken des Quecksilbers in der Thermometerröhre gemacht, der durch vielfache Beobachtungen nachgewiesen, daß die Abkühlung und die Erwärmung des Bodens einen wesentlichen Einfluß auf die Ausdehnung des Quecksilbers im Thermometer ausübt. Einmal dürfte hier die wohl von jedem Physiker unbestrittene Thatsache durch Zahlenwerthe deutlich begründet sein und hierin ihren Werth finden, dann aber scheinen wir uns nicht zu irren, wenn wir behaupten, daß Henrici die von Liais veröffentlichte Arbeit nicht gekannt hat, da jene Behauptung Henrici's, die er zu beweisen sucht, dort als bekannt angenommen und die Fehlerquelle eben durch Rechnung eliminirt ist. — Hier sind auch die Arbeiten von Angström in Acta regiae societatis Upsalensis [3] I, 147 (1851) und von Roget in Institut. 1852, pag. 69, letztere namentlich, zu zählen, indem die mit den früher angegebenen Principien übereinstimmenden Resultate durch Curven anschaulich gemacht sind.

§. 41.

Reduction des Quecksilberthermometers auf das Luftthermometer.

(Vergleiche Anhang, 10, 11, 12.) — Für wissenschaftliche Untersuchungen ist es von großer Wichtigkeit, stets eine Controle des Quecksilberthermometers mit dem Normal-, dem Luftthermometer anstellen zu können. Aus

diesem Grunde widmen wir am Schlusse der Betrachtungen über die Thermometer diesem Gegenstande noch unsere Aufmerksamkeit.

Die Angaben des Quecksilberthermometers sind namentlich, wie wir es schon früher gesagt, von zwei Materien abhängig, nämlich von der Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases. Regnault fand für das Quecksilber in Centesimalgraden ausgedrückt, daß ein Volumen V_0 bei 0° sich bei t° in V verwandelt, wo

$$V = V_0 \left[\left(1 + \frac{t}{55{,}86 \cdot 100}\right)\left(1 + \frac{t}{71 \cdot 100}\right)\right]$$

oder allgemein

$$V = V_0 \, [(1 + q\,t)\,(1 + p\,t)],$$

$$\text{wo } q = 0{,}000179$$

$$p = 0{,}0001409.$$

Für die Ausdehnung des Glases giebt er:

$$V = V_0 \, (1 + k\,t),$$

wo k nicht constant, sondern mit der Temperatur wächst, und einen Mittelwerth hat von:

$$k = 0{,}000027.$$

Ist V_0 das Volumen Quecksilber Q bei 0°, so ist sein Gewicht G

$$V_0 \, Q = G.$$

Die Scale sei in 100 Theile, Grade = s, getheilt, und von diesen Theilen zwischen 0° und 100° nehme das Quecksilber augenblicklich s Theile ein. Das Volumen der Glasröhre zwischen 0° und 100° sei v, so ist bei t° Temperatur, bei welcher das Quecksilber bei s steht, für das Glasvolumen, also auch das Quecksilbervolumen:

$$(V_0 + \frac{s}{s_1} v)(1 + kt) = V_0 [(1 + qt)(1 + pt)] \text{ oder:}$$

$$1 + \frac{s}{s_1} \frac{v}{V_0} = \frac{1 + qt + pqt^2}{1 + kt}, \text{ hieraus:}$$

$$1) \quad \frac{sv}{s_1 V_0} = \frac{t(q-k) + pqt^2}{1 + kt}.$$

Bei der Siedetemperatur ist $t = s_1$
$s = s_1$.

Also ist:

$$2) \quad \frac{v}{V_0} = \frac{s_1 (q-k) + pqs_1^2}{1 + ks_1}.$$

2) Durch 1) dividirt, liefert:

$$\frac{s_1}{s} = \frac{[s_1 (q-k) + pqs_1^2](1 + kt)}{(1 + ks_1)[t(q-k) + pqt^2]}$$

und hieraus:

$$t = \frac{s(q - k + pqs_1)(1 + kt)}{(1 + ks_1)(q - k + pqt)}, \text{ oder:}$$

$$t = \frac{s\left(1 + \frac{pq}{q-k} s_1\right)(1 + kt)}{(1 + ks_1)\left(1 + \frac{pq}{q-k} t\right)}$$

Wir ersehen hieraus, daß die wahre Temperatur des Quecksilbers nicht richtig an den Theilstrichen abgelesen wird, sondern daß noch ein constanter Factor hinzutritt. Um nun den Fehler zu bestimmen, den wir begehen würden, wenn wir die Anzahl der Scalentheile direct ablesen, setzen wir:

$$t = s + \delta;$$

dann ist:

$$\delta = \frac{s\left[\left(1+\frac{pq}{q-k}s_1\right)(1+kt)-(1+ks_1)\left(1+\frac{pq}{q-k}t\right)\right]}{(1+ks_1)\left(1+\frac{pq}{q-k}t\right)}$$

oder:

$$\delta = \frac{s\left[\frac{pq}{q-k}s_1 - \frac{pq}{q-k}t + kt - ks_1\right]}{(1+ks_1)\left(1+\frac{pq}{q-k}t\right)} \text{ oder:}$$

$$\delta = \frac{s(s_1-t)\left(\frac{pq}{q-k}-k\right)}{(1+ks_1)\left(1+\frac{pq}{q-k}t\right)}.$$

Setzt man nun die Zahlenwerthe hier ein, so erhält man selbstverständlich den Werth für δ numerisch, und auch die wahre Temperatur aus $t = s + \delta$. — Durch Differentiation ergiebt sich das Minimum des Fehlers, der z. B. beiläufig bei $t = 50^\circ$ etwa $0{,}34^\circ$ beträgt.

Haben nicht alle Theile des Thermometers dieselbe Temperatur, was doch bisweilen vorkommt, sondern haben σ Theile, die von t^1 und $s - \sigma$ die von t, so ist:

$$VQ = Q\left[V_0 + \left(\frac{s-\sigma}{s_1}\right)v\right]\left[\frac{1+kt}{(1+qt)(1+pt)}\right] + \frac{\sigma}{s}v\left[\frac{1+kt_1}{(1+qt)(1+pt)}\right].$$

Oder mit Einführung von δ:

$$t = (s+\delta)\left\{1 + \frac{\sigma}{s_1}(t^1 - t)\,q - \text{Factor}\right\}.$$

Das Pyrometer.

1) Prinsep: Originalabhandlung, Philosoph. Transactions for 1828, pt. I, pag. 79, dann Annals of Philosoph. Society, T. III, pag. 129.
2) Schwarz, in Bullet. des Sciences technol. T. IX, p. 239, ausführlich in Bullet. de la Sociét industr. de Mühlhausen.
3) Dr. M Sweeny, in Gills technic. Reposit. Vol. IV, p. 239.
4) Lenz: Pogg. Ann. Bd. 34.
5) Pouillet: Compt. rend. 1836, T. VI, p. 782.
6) A. Ermann und P. Herter: Untersuchungen über die Ausdehnung ꝛc — Pogg. Ann. Bd 97, S. 489. — In Verbindung: Prinsep, in Edinbourgh Journal of Science for 1829 und Brix: Jahresberichte der Physik von Liebig und Kopp für 1854, S. 54.
7) Daniell: Pyrometrie. Seine Originalarbeiten befinden sich in: Philosoph. Transact. for 1830 et 1831. — Philosoph. Magazin, Ser. II. Vol. X, p. 191, 268, 330. — Philosoph. Magazin, Ser. III, 1832, Vol. I, p. 197.
8) J. Wilson, in Philosoph. Magazin. (4), IV, 157.
9) Abhandlung von Cagniard-Latour und Demonferrand. — Vergl. Compt. rend. 1836, S. 28.
10) Bessel: Untersuchungen über die Einheit des preußischen Maßes. Königsberg 1839.

Zur Messung höherer Temperaturgrade bedient man sich der Pyrometer.

§. 1.

Das Pyrometer von Wedgwood ist wohl mit eines der einfachsten Instrumente. Er verfertigte aus dem Thone von Cornwallis, der mit reiner Thonerde gemengt war, cylindrische Körper von bestimmtem Durchmesser, und brachte sie zwischen zwei unter bestimmtem Winkel geneigte Lineale. Je tiefer sie zwischen diesen sanken, desto höher war die Temperatur, denn der Thon gab in der Rothglühhitze Wasser ab und es entstand eine Zusammensinterung. — Man kann aus dieser Angabe sicher auf die Unvollständigkeit des Apparates schließen. Prinsep ([1]) schlug vor, die Schmelzpunkte verschiedener Metalle zur Bestimmung der Hitzegrade anzunehmen, so daß, wenn z. B zwischen dem Schmelzpunkte des Platin und des Goldes 100° lägen, man durch Zusätze von Platin zu Gold Legirungen erhalte, die schwerer als Gold schmelzen. Hierbei aber ergeben sich schon daraus Ungenauigkeiten, daß man nicht genau den Schmelzpunkt des Platin kennt, und diese zeigen sich z. B. in der Differenz der Angaben bei dem Schmelzpunkte des Silbers, der nach Prinsep bei 1830° F., nach Daniell bei 2233° F. und nach Wedgwood bei 4717° F. liegt. — Schwarz ([2]) bestimmte den Hitzegrad durch die Temperatur, die eine Masse Quecksilber durch Eintauchung eines in diesem Feuer geglühten Platinwürfels erhält. — Es ist einzusehen, daß Quecksilber, in hinreichender Masse in den Würfel eingeschlossen, nur eine mäßige, durch ein gewöhnliches Thermometer meßbare Wärmemenge enthalten wird, aus der man mittelst der specifischen Wärme und der Gewichtsmenge beider Substanzen die Hitze, welche der Platinwürfel besaß, leicht berechnen kann.

Obwohl die Methode theoretisch nichts zu wünschen übrig läßt, so sind doch vom practischen Gesichtspunkte mehre Bedenken dagegen zu erheben, nämlich 1) der unvermeidliche Wärmeverlust des Platinwürfels, der nicht zu

vermeiden ist; 2) die Verdampfung des Quecksilbers und 3) die ungenaue Bestimmung der specifischen Wärme des Platin in so hoher Temperatur, sie sind Factoren, die eine genaue Messung nicht zulassen. Das Pyrometer von Dr. M'Sweeny ([3]) beruht auf der Idee, daß ein Hohlspiegel in Gestalt eines abgestumpften, an beiden Enden offenen Kegels so dem Ofen zugewendet, daß seine größere Grundfläche ihm gegenüber liegt, einem in seiner Mitte aufgehängten Thermometer durch die strahlende und reflectirte Wärme zur Bestimmung der Hitze diene. — Ob die Annahme, von der Sweeny ausgeht, daß nämlich der Ueberschuß der von dem heißen Körper ausgestrahlten Wärme über die Temperatur des betreffenden Raumes in directem Verhältnisse zu der Hitze des Körpers stehe, kann noch nicht als feststehend angenommen werden.

§. 2.

Pyrometer von Borda.

Das Pyrometer von Borda (Taf. VI, Fig. 6) besteht aus zwei Metallstäben von verschiedenem Metalle, die ihrer Länge nach aufeinander gelegt und an einem Ende fest verbunden sind. Am andern Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches erst senkrecht aufsteigt und dann horizontal gebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei aneinander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit der sie zusammenstoßen, so eingetheilt sind, daß die Theilung des einen gleichzeitig den Nonius des andern bildet, so daß etwa 11 Theile des einen 10 Theilen des andern entsprechen, so kann man mit Hülfe dieses Nonius genau die Differenz der Ausdehnung beider Metallstäbe absehen. Ist nun die Ausdehnung des einen bekannt, so kann man durch die beobachtete Differenz auch die Ausdehnung des andern bestimmen.

§. 3.

Pyrometer auf elektrischen Gesetzen beruhend.

Wir führen hier gleichzeitig zwei Methoden an, durch welche man höhere Temperaturen messen kann. — Nimmt man zwei etwa $\frac{1}{4}$ Millimeter dicke Platindrähte, von denen der eine mit einem andern Metalle legirt ist, und preßt sie an dem einen Ende in einen Kasten zusammen, während die andern Enden mit einem Multiplicator in Verbindung stehen, so kann man, wenn der Knoten in die Wärmequelle gebracht wird, durch Ablenkungen der Nadel die Zunahme der Temperatur beobachten. Wir müssen jedoch hier bemerken, daß absolute Temperaturbeobachtungen, wie es auch Regnault nachgewiesen, sehr unzuverlässig mit diesem Apparate angestellt werden.

Besser ist die von Neumann in Königsberg angegebene Methode. Bezeichnet k_t das Leitungsvermögen eines Metalles bei der Temperatur t, k_0 das bei der Temperatur $t = 0$, so ist nach Lenz (4):

$$k_t = k_0 \, (1 - 0{,}0034 \, t) \text{ für Platin.}$$

Nach Neumann:

$$k_t = k_0 \, (1 - 0{,}0039 \, t) \text{ für Platin und}$$

$$k_t = k_0 \, (1 - 0{,}000445 \, t) \text{ für Kupfer etc.}$$

Man kann nun die geringste Veränderung des Leitungswiderstandes messen und wird also, wenn das Gesetz des Widerstandes für ein bestimmtes Metall bekannt ist, die dazu gehörige Temperaturerhöhung sehr genau bestimmen. Somit hätte man ein Mittel, hohe Temperaturen bis auf Hunderttheile eines Grades zu messen.

§. 4.

Das Luftpyrometer von Pouillet. (4)

Dieses Instrument besteht 1) aus einem eiförmigen Platingefäß aus einem Stück; 2) aus einer Verbindungsröhre von 1 bis 2 Millimeter innerem Durchmesser, die in einer Länge von wenigstens 20 bis 25 Centimeter von Platin sein muß, in der zweiten ebenso großen Hälfte aber aus Silber bestehen kann; 3) aus einer getheilten Glasröhre, bestimmt, mit ihrem oberen Ende die Luft aufzunehmen, welche durch Erhitzung aus dem Platingefäß getrieben wird. Diese Röhre ist einer Barometerröhre ähnlich, und steht neben einer zweiten solchen Röhre, die oben offen ist; unten stehen beide stets in Gemeinschaft. Zu Anfange des Versuches sind beide ganz mit Quecksilber gefüllt, und mittelst einer besonderen Vorrichtung hält man die beiden Quecksilbersäulen beständig in gleichem Niveau, so daß man in jedem Augenblick den Druck der in dem Apparat hermetisch eingeschlossenen Luft oder Gasart erfährt.

Diese besondere Vorrichtung, von der oben die Rede ist, wird aus Folgendem verständlich werden. Neben den schon genannten beiden senkrechten Glasröhren, die mit A und B bezeichnet sein mögen, und von denen A oben durch die metallene Verbindungsröhre mit dem Platingefäß, B aber an seinem unteren Ende wieder mit A durch einen horizontalen Kanal in Gemeinschaft steht, befindet sich noch eine dritte senkrechte Glasröhre C, die wie B oben offen ist, und mit dieser unten durch einen horizontalen Canal communicirt. Dieser horizontale Canal enthält, von seinem Ende her eingesteckt, einen Hahn, der von seinem vordern Ende an, längs der Axe bis zur Mitte, und von da zur Seite ausgehend, durchbohrt ist. Wenn diese Seitenöffnung nach oben gekehrt ist (a), gestattet der Hahn eine Gemeinschaft der Röhre C mit B und A, wird sie horizontal gedreht (b), so ist sie end-

lich senkrecht herabgedreht (c), so tritt sie vor ein Loch in dem horizontalen Canal, welches diesen nach außen öffnet. Bei der Stellung (b) wird die Röhre C mit Quecksilber gefüllt. Will man nun das Niveau des Quecksilbers in B erhöhen, so giebt man dem Hahn die Stellung (a); es fließt dann Quecksilber aus C in B. Will man dagegen das Niveau in B erniedrigen, so bringt man den Hahn in die Stellung (c), es fließt dann Quecksilber aus dem horizontalen Canal, welcher B und C verbindet, ab. Mittelst dieser Vorrichtung, die im Ganzen der des bekannten Gay-Lussac'schen Instrumentes ähnlich ist, können nun die beiden Quecksilbersäulen in A und B in gleiches Niveau gebracht werden, und die Gewißheit davon erhält man durch ein Fernrohr, dessen genau horizontal ausgespannter Faden dann beide Quecksilberkuppen berühren muß. Die drei senkrechten Röhren A, B, C, deren jede etwa 2 Fuß lang ist, stehen nicht in einer Ebene, sondern in den Kanten eines dreiseitigen gleichschenkeligen Prismas. Dies hat den Zweck, sie leichter zu umgeben mit einem Glascylinder, welcher, mit Wasser gefüllt, dazu dient, sie stets auf der nämlichen Temperatur zu erhalten. Der Boden, worauf dieser Glascylinder befestigt ist, enthält die horizontalen Verbindungscanäle.

Wenn man von einem Druck und einer Temperatur von bekannter Größe ausgeht, und darauf das Platingefäß erhitzt, geht von der Luft, vermöge ihrer Ausdehnung, eine gewisse Anzahl Cubikcentimeter in die getheilte Röhre über. Da diese durch Beobachtung leicht zu bestimmen ist, so findet man durch Rechnung die unbekannte Temperatur des Platingefäßes, wenn übrigens der Rauminhalt dieses Gefäßes und der des Verbindungsrohres, sowie die Menge der ursprünglich bei einer benannten Temperatur und unter einem bekannten Druck in der getheilten Röhre enthaltenen Luft bekannt ist.

2) Formeln zur Berechnung der Resultate:

$$c + z = \frac{p' n' - p n}{p' - p} \quad \ldots \quad (1)$$

$$v = \frac{p}{760} \cdot \frac{(c + z + n')}{1 + a t} \quad \ldots \quad (2)$$

$$n = \frac{760\, v}{p} - (c + z) \quad \ldots \quad (3)$$

$$N = \frac{N - z a t}{1 + a t} - n \quad \ldots \quad (4)$$

$$v = \frac{p}{760} \left[\frac{N' + z}{1 + a t} + \frac{c (1 + l' x)}{1 + a x} \right] \quad \ldots \quad (5)$$

$$x = \frac{N}{c (a - l') - a N} \quad \ldots \quad (6)$$

$$N = a x \left[\frac{(a - l')}{1 + a x} + \frac{760\, v}{p} - (c + z) \right] (1 + a t) + z a t \quad \ldots \quad (7)$$

Mittelst der Formel (1) wird der Werth $c + z$ des Rauminhaltes von dem Gefäße und der Verbindungsröhre geprüft, wenn man, nachdem der Apparat in allen seinen Theilen eine constante Temperatur angenommen hat, die in demselben enthaltene Luft unter zwei verschiedene Drucke p und p' versetzt und dabei die in der getheilten Röhre befindliche Anzahl n und n' Cubikcentimeter Luft beobachtet; c ist der Rauminhalt des Platingefäßes, welches der zu messenden Hitze ausgesetzt wird, und z ist der Rauminhalt der Verbindungsröhre bis zum Nullpunkte der getheilten Röhre.

Durch die Formel (2) bestimmt man das Volum v, welches die Luft im Apparat bei der Temperatur 0° unter dem Drucke 760 Millimeter einnehmen würde; man erhält es durch eine einzige Beobachtung, wenn diese die Temperatur t der umgebenden Luft den Druck p und die Anzahl n' der unter diesen Umständen in dem

Rohre enthaltenen Cubikcentimeter Luft giebt; a ist der Ausdehnungscoefficient der Luft.

Die Formel (3) giebt die Anzahl n von Cubikcentimetern Luft, welche in der getheilten Röhre enthalten sein würden, wenn der ganze Apparat die Temperatur 0° besäße und unter dem Druck p stände.

Die Formel (4) dient zur Auffindung von N oder dem Volum, welches reducirt auf 0° und den Druck p, aus dem Platingefäß in die getheilte Röhre übergeht, wenn das Gefäß auf die unbekannte Temperatur x gebracht wird. Der Werth von N hängt ab von z und n, welche bekannt sind, von der umgebenden Temperatur t, welche man beobachtet, und von der Anzahl N' von Cubikcentimetern, die wirklich von der Luft in der getheilten Röhre eingenommen werden.

Die Formel (5) dient zur Auffindung des durch die Formel (2) gegebenen Volums v, aber unter anderen Umständen, d. h. für den Fall, daß das Platingefäß die Temperatur x besitzt, und wenn unter dem Druck p, in der getheilten Röhre, deren Temperatur t ist, das Cubikcentimeter Luft beobachtet sind.

Die Formel (6) giebt die Temperatur x des Platingefäßes.

Mittelst der Formel (7) kann man im Voraus berechnen, welche Anzahl N' von Cubikcentimetern man unter dem Druck p und bei der Temperatur t, in der getheilten Röhre haben muß, wenn das Platingefäß auf eine Temperatur x gebracht worden ist. Man sieht aus dieser Formel, daß die Werthe von N', welche 1000 bis 1100° entsprechen, um fast einen Cubikcentimeter voneinander verschieden sind, und daß an dieser Stelle der Scale das Intervall von 100° auf der getheilten Röhre eine Länge von 13 bis 14 Millimetern besitzt. Man vergleiche auch die Untersuchungen von A. Ermann und F. Herter (*).

§. 5.

Das magnetische Pyrometer.

Das Luftpyrometer und die Wärmecapacität des Platins sind zwei Hülfsmittel, die von nun an zur Bestimmung hoher Temperaturen angewandt werden können; allein sie fordern so genaue Apparate und eine so große Geschicklichkeit im Experimentiren, daß sie nicht in den Laboratorien angewandt werden können. Man hat daher nach einem leichter anwendbaren Apparat gesucht, sollte er auch weniger genau in seinen Angaben sein. Dahin ist man gelangt durch Construction eines magnetischen Pyrometers, welcher seinen Zweck zu erfüllen scheint. Um eine Idee von diesem Instrumente zu bekommen, denke man sich die Schwanzschraube eines Flintenlaufs genommen, daran den Schraubengang auf eine gewisse Strecke 2 Millimeter tief und 1 Millimeter breit ausgegraben, so daß derselbe vollkommen glänzend und rein sei, darin einen Platindraht von einem Millimeter Dicke eingelegt, und nun den Grad des Schraubenganges mit einem Hammer platt geschlagen, so daß der Platindraht, welcher drei oder vier Umgänge macht, vollständig bedeckt sei und sein Ende sich gänzlich in der Eisenmasse verliere. Hierauf stecke man den Platindraht in den Lauf, längs der Axe desselben, schraube die Schwanzschraube wieder in das Ende des Laufs, und schweiße sie im Essenfeuer mit diesem innig zusammen. Alsdann fülle man den Lauf mit Magnesia oder Asbest, damit der Draht gehalten werde und den Lauf nicht berühre. Alles dieses thue man mit dem anderen Ende des Laufes, nur durchbohre man die zweite Schwanzschraube ihrer Länge nach, damit der erste Platindraht hindurchgehe, ohne sie zu berühren.

Auf diese Weise hat man einen Metallbogen, bestehend aus dem Flintenlauf und zwei Platindrähten, wobei die beiden Schwanzschrauben die zwei Löthstellen

der Kette abgeben. Erhitzt man dann die erste Löthstelle, welche allein für das Feuer bestimmt, und mit einem Gemenge aus feuerfesten Erden bekleidet ist, so erhält man einen thermo-elektrischen Strom, dessen Intensität nach einem gewissen Gesetze von der Temperatur abhängt, welcher das Ende des Flintenlaufs ausgesetzt ist. Dieser Strom geht in einen Multiplicator, gebildet aus 25 bis 30 Windungen eines Kupferstreifens von 9 bis 10 Millimetern Breite und 0,5 Millimeter Dicke. Eine gewöhnliche Boussole, im Innern dieses Multiplicators auf einem Hütchen schwebend, empfindet die Wirkung des Stroms, und erleidet dadurch eine von dessen Intensität bedingte Ablenkung. Um gegen die Veränderungen in der Wirkung geschützt zu sein, die aus der relativen Lage der Nadel gegen den Strom entspringen würden, ist der Multiplicator um die Axe des Hütchens der Nadel beweglich gemacht, und man dreht ihn in dem Maße, als er die Nadel ablenkt, so daß seine Einwirkung auf diese immer senkrecht gegen seine Länge bleibt, oder, anders gesagt, so daß der Multiplicator und die Nadel immer in ein und derselben Verticalebene seien. Wenn man nun durch 1000000 die Intensität der Kraft bezeichnet, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zu drehen trachtet, sobald sie senkrecht auf diesem Meridian steht, so ist leicht ersichtlich, daß die Intensität des Stromes ausgedrückt wird durch:

$$1000000 \sin z,$$

sobald er, wie oben gesagt, in der Verticalebene der Nadel befindlich, sie in solcher Lage hält, daß sie mit dem magnetischen Meridian den Winkel z bildet. Diese Ablenkung wird mit einem Fernrohr beobachtet, welche der Multiplicator in seiner Bewegung mit fortführt.

Um diesen Apparat mittelst des Luftpyrometers zu graduiren, kittet man in der Eisenmuffel und an das Platingefäß dasjenige Ende des Flintenlaufs, welches erhitzt werden soll. Darauf beobachtet man die vom Luftpyrometer angezeigte Temperatur zugleich mit der

entsprechenden Ablenkung z, welche dem thermo-electrischen Strom der Boussolen-Nadel entspricht. Man erhält dadurch eine Reihe Ablenkungen und entsprechende Temperaturen. Wenn nun eine Intensität des Stroms, gegeben durch eine Temperaturdifferenz t zwischen den Löthstellen und durch 1000000 sin z ausgedrückt, so ist die einem Grad entsprechende mittlere Intensität:

$$\frac{1000000 \sin z}{t}.$$

Das magnetische Pyrometer hat den Vortheil, daß es ein wirklich practisches Instrument ist, und daß es eine mit steigender Temperatur zunehmende Empfindlichkeit besitzt. Wenn es nach dem Luftpyrometer graduirt ist, kann es die Temperatur eines Essenfeuers mit großer Genauigkeit angeben, vorausgesetzt, daß diese Temperatur etwas unter dem Schmelzpunkt des Eisens liege.

§. 6.

Das Registerpyrometer.

Das von Daniell (7) angewandte Pyrometer beruht darauf, daß Reißblei in der Wärme weniger ausdehnbar ist als Metalle, wie Platin oder Eisen. Er verfertigt daher eine Büchse aus solchem Reißblei, indem er in eine runde Stange desselben von 8 Zoll Länge und 0,7 Zoll Durchmesser, ein 7,5 Zoll tiefes und 0,3 Zoll weites Loch bohrt. In diese Büchse steckt er eine 6,6 Zoll lange Stange von Platin so, daß sie mit ihrem unteren Ende auf dem Boden der Büchse ruht, und auf diese Metallstange stellt er wiederum eine Porcellanstange (Index genannt), die nach oben einen Zoll zur Büchse herausragt. Dieser Index wird mittels eines Platinringes, der ihn und den zur Hälfte weggeschnittenen oberen Theil der Büchse umfaßt, an letzterem festgeklemmt, durch einen Porzellankeil, der zwischen dem Ring und jenem Ende der Büchse eingeschlagen wird. Klar ist nun, daß wenn dieser Apparat einer starken

Hitze ausgesetzt wird, die Platinstange, vermöge ihrer größeren Ausdehnung, den Index fortschiebt, daß dieser aber nicht wieder zurückgeht, wenn man den Apparat aus dem Feuer nimmt. Man braucht also nur vor oder nach dem Versuch die Lage des Index gegen das obere Ende der Büchse zu messen, um aus der Fortschiebung desselben den Ausdehnungsunterschied jener 6,5 Zoll langen Stangen, einer von Reißblei und einer von Platin, zu erhalten. Aus diesem Unterschiede ergiebt sich die wahre Ausdehnung der Platinstange, wenn man die der Reißbleistange kennt. Letztere bestimmt nun D. mittels der von Dulong und Petit gegebenen Werthe für die wahre Ausdehnbarkeit des Platins und Eisens durch directe, zwischen 64 und 660° F. angestellte Versuche, wobei sich, innerhalb dieses Temperaturintervalls, die Verlängerung der 6.5 Zoll langen Reißbleistange bei Anwendung von Platin = 0'',00784, und bei Anwendung von Eisen = 0,00878 ergab. Nachdem nun hiermit die Ausdehnung der Platinstange gefunden worden, leitet er daraus die Temperatur ab, mit Beachtung der Correction, die wegen der mit der Temperatur steigenden Ausdehnbarkeit des Platins erforderlich ist. Auf diese Weise sind die obigen Schmelzpunkte bestimmt, wobei das Pyrometer in die fließenden Metalle gesteckt wurde.

Die Verschiebung des Index, also die Messung der Verlängerung, welche das Platin in der Hitze erfuhr, wird durch einen mit Nonius und Lupe versehenen Hebelapparat bewirkt. Es ist ein Vorzug dieses Pyrometers gegen die früheren, daß der Meßapparat nicht der Hitze ausgesetzt wird, aber in anderer Beziehung, namentlich in Beziehung auf die ungleiche Beschaffenheit des Reißbleies, sowie auf die Veränderung, welche das Platin bei mehrmaligem Gebrauch darin erleidet, läßt es sehr viel zu wünschen übrig.

§. 7.
Wilson's Pyrometer.

Schon häufig (Gehler, phys. Wörterbuch, neue Bearbeitung, IX. 1017 f.) ist ein Vorschlag gemacht, auf andere Weise hohe Temperaturen zu bestimmen, den nur J. Wilson (*) (Procedings of the Institution of Mechanical Engineers, Birmingham, in Phil. Mag. [4.] Nr. 157.) erneuert hat, nämlich Platin oder feuerfestem Thon die hohe Temperatur mitzutheilen, dann sie schnell in Wasser zu bringen, dessen Temperaturerhöhung zu messen und aus dieser, der specifischen Wärme des erhitzten Körpers und den Gewichten des letztern und des Wassers die gesuchte Temperatur zu berechnen.

§. 8.
Akustisches Pyrometer (*).

Bekanntlich wird die Geschwindigkeit des Schalls in einem Gase ausgedrückt durch die Formel:

$$v = a\sqrt{1 + at}$$

wo v die Geschwindigkeit bei 0° und a der Ausdehnungscoefficient des Gases für einen Grad ist.

Andrerseits wird die Anzahl der Schwingungen einer gedachten Luftsäule von der Länge l ausgedrückt durch

$$n = \frac{a}{2l}.$$

Gesetzt nun, man lasse eine Pfeife von Eisen oder Platin ihren Grundton angeben, während sie einmal der Temperatur 0° und ein andermal irgend einer Hitze, z. B. dem Schmelzpunkt eines Metalles, ausgesetzt ist. Seien n und N die Anzahl der in beiden Fällen ausgeführten Schwingungen, so hat man:

$$n = \frac{a}{2l}\ N = \frac{a\sqrt{1 + at}}{2l(1 + kt)},$$

wo k der Coefficient der linearen Ausdehnung der Pfeife ist.

Daraus ergiebt sich:

$$t = 266^\circ{,}66 \frac{N^2 - n^2}{n \cdot 2 - \frac{2\,k\,N^2}{a}}$$

für eine Pfeife von Eisen, wo $k = 0{,}0000123$ ist:

$$t = 266^\circ{,}66 \cdot \frac{N^2 - n^2}{n^2 - 0{,}0065\,N^2},$$

für eine Pfeife von Platin, wo $k = 0{,}000008565$ ist:

$$t = 266^\circ{,}66 \cdot \frac{n^2 - 0{,}004568\,N^2}{N^2 - n^2}$$

Um die Empfindlichkeit dieses Apparates zu zeigen, wollen wir das einer jeden Octave entsprechende Temperatur-Intervall, sowie den Einfluß eines Fehlers von einem Komma berechnen.

	Eiserne Pfeife.	Platinene Pfeife.
1) $N = 2\,n$	$t = 821$	$t = 814$
$N = 2\,n \cdot \frac{81}{80} \cdot$	$t = 849$	$t = 812$
2) $N = 4\,n$	$t = 4464$	$t = 4315$
$N = 4\,n \cdot \frac{81}{80} \cdot$	$t = 4597.$	$t = 4440.$

Die Ungewißheit über die Ausdehnung der Metalle in den zu messenden Temperaturen ist eine andere Fehlerquelle. Um die Wichtigkeit derselben einzusehen, bemerken wir zuvörderst, daß wenn das Metall sich nicht ausdehnte, man für die Temperatur einfach haben würde: $\frac{N^2 - n^2}{n^2}$. Nennt man nun ϑ diesen genäherten Werth, so ist:

$$t = \vartheta \left(1 + \frac{2\,k\,N^2}{a\,n^2} + \frac{4\,k\,2\,N^4}{a^2\,n^4} + \ldots\right)$$

Vernachlässigt man das Quadrat und die höheren Potenzen von $\frac{2\,k\,N^2}{a\,n^2}$, so hat man einfach:

$$t = \vartheta + \frac{2\,k\,N^2}{a\,n^2}\,\vartheta.$$

Daraus folgt, daß die Berichtigung wegen der Ausdehnung der Pfeife beinahe proportional ist dem Ausdehnungscoefficienten des Metalls und der nicht berichtigten Temperatur.

Der zweite Theil dieses Gesetzes ist nicht hinlänglich richtig; allein der erste, mit welchem wir uns in diesem Augenblick beschäftigen, wird durch die Rechnungen für das Eisen und Platin bestätigt. Wirklich sind die Berichtigungen:

21° und 14° für die Annäherung von 800°
461° „ 315° „ „ „ „ 4000°

sehr nahe proportional dem Ausdehnungscoefficienten des Eisens und dem des Platins. Eine Vergrößerung von $\frac{1}{7}$ in dem Ausdehnungscoefficienten des Platins würde die Berichtigung für 800° auf 16°, und für 4000° auf 360° bringen, was im ersten Fall einen Fehler von 2° und im zweiten einen von 45° machen wird. Fügt man noch einen Fehler von einem halben Komma in der Beurtheilung des Tons hinzu, so sieht man, daß man durch dieses Mittel die Temperaturen bis 800° auf 16°, und bis 4000° auf 110° genau messen kann. —

§. 9.

Das Hebelpyrometer.

Das Hebelpyrometer dient eigentlich nicht mehr, wie die bisher erwähnten verwandten Instrumente, zur directen Messung der höhern Temperatur, sondern nur insofern zur indirecten, als die Ausdehnung von Stäben 2c. dadurch gemessen wird. — Eine Stange t (Taf. VII, Figur 5), deren Ausdehnung man messen will, stößt mit dem einen Ende gegen die feste Schraube v, mit dem andern nahe an den Drehpunkt eines Hebels h, so daß, wenn t sich nur wenig dehnt, h einen großen Bogen beschreibt. Dieser Hebel h stößt aber nochmals gegen einen zweiten Hebel p, der mit seiner Spitze einen in

Grade getheilten Bogen durchläuft, an dem man die Größe der Ausdehnung abließt. Der Fehler, der sich jedoch leicht vorfindet, ist der, daß durch die Temperaturerhöhung in der Nähe der festen Punkte, nämlich v des Widerstandes und a der Drehungsaxe, diese nicht mehr fest bleiben, sondern ihre Lage verändern und dadurch ungenaue Resultate hervorrufen. — Diesen Uebelstand haben Laplace und Lavoisier (vergleiche Traité de physique par Biot) dadurch beseitigt, daß sie zwei starke Pfeiler einmauern ließen, unter diese einen Eisenstab legten, der senkrecht nach unten eine feste Glasplatte trug. Mit dem einen Ende wurde der Körper, dessen Ausdehnung untersucht werden sollte, gegen diese feste Glasplatte gebracht, mit dem andern Ende jedoch gegen eine zweite Glasplatte, die ihrerseits mit einem Fernrohre so in Verbindung stand, daß wenn sie sich bewegte, das Fernrohr zwang, eine entsprechende Bewegung mitzumachen. — Diese Bewegung, also durch die Ausdehnung des Körpers veranlaßt, wurde durch das Fernrohr an einer entfernter stehenden Scale in Längentheilen abgelesen. Bessel (¹⁰) hat noch eine andere Methode bekannt gemacht, die wir hier wenigstens auch andeuten wollen. In einem Gefäß mit Schnee gefüllt, befindet sich eine solide Säule mit zwei Armen und an denselben oben zwei Mikroskope. Unter den Mikroskopen ist ein zweiter Kasten angebracht, in welchem sich der zu messende Stab befindet, und dieser wird erwärmt und die Ausdehnung einmal durch die Mikroskope, sonst aber auch relativ durch ein Metallthermometer aus Eisen und Zink beobachtet. Um diesen Apparat genauer kennen zu lernen, verweisen wir auf die citirte Originalabhandlung. —

Das Hygrometer.

1) Laboratorium, eine Sammlung von Beschreibungen und Abbildungen der besten und neuesten Apparate zum Behuf der practischen und physicalischen Chemie. Weimar. Heft 4 Tafel **XVI.** und Heft 7 Taf. **XXIX.** Wir führen hieraus hier an:

   Ferguson's und Steiner's Holzhygrometer, Forsters Grannenhygrometer, dann Hygrometer von Hould, de la Rive, Anderson, Hales, Desagalier, Kater, Leslie, Lowitz, De Luc, Anderson, Blaklader, Prinsep u. s. w

2) **Essais sur l'Hygrometre par Saussure, à Neufchatel chez Fauche, 1783.** Uebersetzung durch H. B. de Saussure. Leipzig 1784.

   Eine unwesentliche Verbesserung ist von Babinet. Kastner Archiv **III. p.** 452. — **Ann. de Chim. et de Phys. T.** 26 **p.** 367.

   Sonst ist zu vergleichen: Schleiden: Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik 1846. **II. p.** 545.

3) Regnault. Hygrometrische Studien. **Compt. rend. T. 20 p. 1127 et 1220,** im Auszuge Pogg. Ann. 65. **p.** 135 und **p.** 321.

4) **Daniell's** Hygrometer in Gilbert Annalen Bd. 65, **p.** 169 und 405. Verbesserungen desselben sind, obgleich nicht wesentlich, von

   Munke. Gilbert Ann. Bd. 68, **p.** 69.

   Steiner. Gilbert Ann. Bd. 68, p. 420.

Döbereiner. Gilbert Ann. Bd. 70, p. 135.
Körner. Gilbert Ann. Bd. 70, p. 139.
Bischof's ausführliche Beobachtungen mit Daniell's Hygrom. Kastner Archiv II. p. 442.

5) Pouillet in Eléments de physique, édition 4 T II., p. 635.
6) Savary, in Ann. de chim. et de phys. T. II., p. 531 und im Auszuge Pogg. Ann. Bd. 54, p. 147 auch Compt. rend. T. 13, p. 450.
7) Regnault. Hygrometrische Studien. Siehe (*) ferner Pogg. Annalen Bd. 65, p. 338.
8) Regnault. Compt. rend. T. 35, p. 390 und. Pogg. Ann. Bd. 88, p. 431.
Ann. chim. phys. 1853 (*) 37, p. 257.
9) Döbereiner, in Gilbert Ann. Bd. 70, p. 135.
10) A. Conneil, in Phil. Mag. (4) 8, p. 81. Instit. 1855, p 102.
11) A. Conneil, in Phil. Mag. (4) 9, p. 25.
12) Appold, in Instit. 1850, p. 398.
13) Baumhauer, in Pogg. Ann. Bd. 93, p. 343.
14) Babinet, in Compt. rend. 27, p. 529. und Instit. 1848, p. 158.
15) Vogel und C Reischauer. Münchener gelehrter Anzeiger 42, 4, p. 15 u. 16.
16) Dr. Andrews, in Sill. Ann. Journ. (*) XII. 419 auch Pogg Ann. 85, p. 36, aus dem Athennäum Juli 1851.
17) Belli, in Ann. chim. phys. (*) XV. 506 im Auszuge Ann. Chim. Pharmac. 60, p. 154. Auch Berliner Berichte 1847, p 578.
18) Sonklar, in Institut. 1856, p. 344. — Wiener Berichte 22, p. 271
19) Majocchi, in Annali di fisica, chimica et matematica Vol. I., p. 30. Ann. chim. phys. (*) 19, p. 77 und Pogg. Ann. 54, p. 148.
20) Regnault, in Ann. chim. phys 1847 T. 19, p. 84 und Pogg. Ann. 70, p. 530.
21) Poggendorff, in Pogg Ann. Bd 54, p. 151.
22) Lefebre, in Ann. chim. physique (*) 25.
23) Drian, in Archiv. phys. nat. 23, p. 281.
24) Blackadder, in Edinb. Journal of Science Nr. VI, p. 251.

Sehr viele organische Substanzen verlängern sich beträchtlich, wenn die Feuchtigkeit in der Luft zunimmt, und verkürzen sich, wenn sie abnimmt. Diese Eigenschaft hat man benutzt, um Instrumente zu construiren, die

den Feuchtigkeitsgrad der Luft unmittelbar angeben. Man hat zu diesem Behufe die mannichfachsten Substanzen vorgeschlagen ([1]), allein alle diese Instrumente sind mehr Hygroscope als Hygrometer. Sie leiden an dem wesentlichen Mangel, nicht vergleichbar zu sein, und deshalb hat man sie verlassen.

Nur das Haarhygrometer ist der allgemeinen Vergessenheit entgangen, Dank der Ausdauer seines Erfinders, der zahlreiche Versuche unternahm, um es vergleichbar zu machen, und ihm eine Scale zu geben, nach welcher man die Sättigungsstufe der Luft berechnen kann.

§. 1.

Saussure's Hygrometer nach Regnault.

Das Saussure'sche ([2]) Hygrometer hat sich in den ersten Jahren einer großen Gunst unter den Physikern erfreut; allein die Einwürfe kamen hinterher. Man warf dem Instrumente vor, es sei äußerst zerbrechlich, und seine Graduirung komme mit der Zeit in Unordnung. Einige Physiker behaupteten gar, das Haar verliere seine Empfänglichkeit mit der Zeit vollständig. Dazu kam, daß nach dem Tode Saussure's die Künstler bald die Ueberlieferungen dieses geschickten Physikers vergaßen und die wichtigsten seiner Vorschriften bei Seite setzen.

Indeß besitzt das Saussure'sche Hygrometer für metereologische Beobachtungen so große Vorzüge vor den übrigen hygrometrischen Methoden, daß Regnault ([3]) ungeachtet der sehr starken Vorurtheile, die er gegen dasselbe hegte, doch nicht Anstand nahm, durch gehörige Versuche sich zu überzeugen, bis wie weit es genauere Angaben liefere.

Wir werden in wenig Worten Saussure's Vorschriften zur Construction des Haarhygrometers aufzählen.

Man muß feine, weiche, nicht krause Haare nehmen, geschnitten an einem lebenden und gesunden Kopf. Um

sie zu entfetten, macht man daraus ein Päckchen von der Dicke eines Federkiels, näht dasselbe in Leinwand ein, und läßt es in einem langhalsigen Kolben mit 1 Loth Wasser und 10 Grm. krystallisirter Soda kochen. Man unterhält das Sieden 30 Minuten lang, nimmt darauf den Sack heraus, und wäscht darin die Haare mehrmals einige Minuten lang mit reinem Wasser. Nun schneidet man den Sack auf, nimmt die Haare heraus, und schwenkt sie in einem großen Gefäß mit kaltem Wasser hin und her, um die Waschung zu vollenden, und sie voneinander abzulösen. Endlich hängt man sie auf und trocknet sie.

Die wohl ausgelaugten Haare sind sauber, weich, glänzend, durchscheinend und nicht aneinander haftend.

Das Gewicht, welches das Haar spannt, darf nicht 0,2 Grm. übersteigen. Saussure bemerkt, daß ein nur mit 0,6 Grm. belastetes Haar zwar anfangs ziemlich regelmäßig geht, sich aber nach einiger Zeit auszieht, und dann einen unregelmäßigen Gang annimmt.

In den gewöhnlichen tragbaren Hygrometern beträgt die Länge des Haares 24 Centimeter, und die Rolle, um welche es geschlungen ist, hat etwa 5 Milm. Durchmesser.

Den Punkt der äußersten Feuchtigkeit bestimmt man, indem man das Instrument unter eine inwendig benäßte Glocke bringt.

Um den Punkt der äußersten Trockenheit zu erhalten, empfiehlt Saussure, Weinstein auf ein cylinderförmig gekrümmtes Blech zu streuen, und auf demselben zu glühen, wodurch sich dann das Blech mit einer Schicht von dem sehr wassergierigen kohlensauren Kali überzieht. Man bringt nun das Blech unter eine recht trockene Glocke, und hängt mitten darin das Hygrometer auf.

Der Abstand zwischen dem Punkte der äußersten Trockenheit und dem der äußersten Feuchtigkeit wird in 100 Grade getheilt.

Gegenwärtig hält man sich bei der Construction des Instruments, was die Dimensionen der Theile desselben betrifft, so ziemlich an die Vorschriften Saussure's; allein man belastet das Instrument stärker, oft mit einem bis zu 1,8 Grm. steigenden Gewicht, welches mehr als dreimal so groß ist wie das, welches Saussure als Maximum angiebt. Dies ist tadelnswerth, denn es erhöht sicher die Unregelmäßigkeiten, welche man dem Haarhygrometer vorwirft.

Regnault hat an der Saussure'schen Construction nichts Wesentliches zu ändern gefunden, nur glaubt er, es sei besser, die Haare dadurch zu entfetten, daß man sie 24 Stunden in einer mit Aether gefüllten Röhre liegen läßt. Man bewahrt dadurch den Haaren ihre ganze Haltbarkeit, und sie erlangen beinahe dieselbe Empfindlichkeit, wie wenn sie durch eine siedende Lösung von kohlensaurem Natron entfettet worden wären.

Den Punkt der Trockenheit bestimmt R., indem er das Hygrometer in einen Glascylinder bringt, auf dessen Boden sich eine dicke Schicht concentrirter Schwefelsäure befindet, und den er oben durch eine mattgeschliffene, eingefettete Glasplatte hermetisch verschließt. Er findet, daß die concentrirte Schwefelsäure die vollständige Austrocknung rascher bewerkstelligt als gebrannter Kalk oder Chlorcalcium. Der Zeiger beschreibt zwei oder höchstens drei Grad. Bei den von ihm angewandten Instrumenten ist die Graduirung des Kreises eine willkürliche, und er bringt die beobachteten Theilpunkte durch Rechnung auf Hygrometergrade zurück.

Die Hygrometergrade zeigen nicht unmittelbar die Sättigungsstufen an. Die Beziehung zwischen beiden kann man nicht anders als durch directe Versuche finden. Schon Saussure suchte eine derartige Tafel zu entwerfen. Später haben sich Dulong, Gay-Lussac und Melloni mit demselben Gegenstand beschäftigt, und die Elemente der Tafeln durch verschiedene Methoden bestimmt. Allein alle diese Tafeln beziehen sich auf das individuelle Hygrometer, welches gerade der Expe-

rimentator vor sich hatte, und es bleibt noch zu entscheiden, ob Instrumente, die von verschiedenen Künstlern oft unter sehr verschiedenen Umständen angefertigt wurden, dadurch allein unter sich vergleichbar sind, daß man ihre Festpunkte auf einerlei Weise bestimmte. Saussure behauptet, er habe zwischen zwei nach seiner Methode construirten Hygrometer niemals größere Unterschiede als 3 bis 4 Grade beobachtet. Nimmt man dieses auch als richtig an für Instrumente, die, wie die von Saussure, mit größter Sorgfalt und unter vollkommen identen Umständen construirt sind, so wird man doch zugeben, daß die Uebereinstimmung bei den gewöhnlich von Mechanikern angefertigten Instrumenten geringer ist.

Um ein Maß für die Spannkraft der Wasserdämpfe zu erhalten, bereitete Regnault Gemische von Schwefelsäure und Wasser in verschiedenen bestimmten Verhältnissen, so daß folgende Hydrate entstanden:

$SO_3 + 2H_2O$. $SO_3 + 3H_2O$. $SO_3 + 4H_2O$.
$SO_3 + 5H_2O$. $SO_3 + 6H_2O$. $SO_3 + 8H_2O$.
$SO_3 + 10H_2O$. $SO_3 + 12H_2O$. $SO_3 + 18H_2O$.

Diese Gemische wurden durch eine strenge chemische Analyse geprüft, und man berichtigte allemal ihre Zusammensetzung, wenn die Analyse zeigte, daß sie merklich von der beabsichtigten abwich. Mit größter Sorgfalt bestimmte er auch nach dem in seiner Abhandlung über die Spannkraft des Wasserdampfs gegebenen Verfahren die Spannkraft des Wasserdampfs dieser Gemische für Temperaturen zwischen 0° und 50° C. Er construirte die von diesen Versuchen gelieferten Curven graphisch, und bestimmte, mittelst drei gleichabständigen Resultaten, die drei Constanten der Formel $f = a_1 + a_2 \beta^t$.

Auf diese Weise hat er für jedes Gemisch von Schwefelsäure eine Interpolationsformel erhalten.

Mittelst dieser Formeln hat er eine allgemeine Tafel construirt; dieselbe enthält die Spannungen des Wasserdampfes dieser verschiedenen Schwefelsäure-Gemische für

jeden Grad von + 5° bis 35° C., und daneben die Verhältnisse dieser Spannungen zu denen des Dampfes von reinem Wasser bei derselben Temperatur, oder anders gesagt, die Sättigungsstufen, welche jene Gemische hervorbringen.

Der Gebrauch dieser Tafel zur Graduirung des Haarhygrometers ist nun folgender. Man bestimmt am Hygrometer den Punkt der äußersten Feuchtigkeit. Für ganz unnütz hält R. den Punkt der äußersten Trockenheit zu bestimmen, da man diesem bei den Beobachtungen niemals nahe kommt. Er betrachtet auch den Punkt, auf welchem das Hygrometer sich in vollständig trockner Luft einstellt, nicht als dem Haare in seinem normalen Zustande angehörig; er wird erst nach vielen Tagen erreicht, lange nachdem die Luft vollständig ausgetrocknet worden ist. Dieser Umstand beweist hinlänglich, daß das Haar sich in einer vollkommen trocknen Luft anormal zusammenzieht, vielleicht bis ins Unbestimmte, denn er hat bei einem Hygrometer, welches in einem Glase über concentrirter Schwefelsäure befindlich war, noch nach drei Monaten eine Verkürzung beobachtet, freilich eine sehr unbeträchtliche, denn es bedurfte mehr als vierzehn Tage, damit der Zeiger einen Grad beschrieb.

R. setzt voraus, das Hygrometer werde in einer Gegend gebraucht, wo die Sättigungsstufe der Luft niemals unter ein Viertel falle; man beginne dann die Graduirung erst von diesem Punkte aus. Man bringe das Hygrometer in ein cylindrisches Glasgefäß, dessen obere Oeffnung durch einen Glasstöpsel genau verschließbar ist. Auf den Boden dieses Gefäßes bringe man anfangs reines Wasser, dann successive 2 bis 3 Centimeter hohe Schichten von folgenden Gemischen:

$$SO_3 + 18\,H_2O. \quad SO_3 + 12\,H_2O. \quad SO_3 + 10\,H_2O.$$
$$SO_3 + 8\,H_2O. \quad SO_3 + 6\,H_2O. \quad SO_3 + 5\,H_2O.$$

und beobachte in allen diesen Fällen den Stand des Hygrometers und den eines daran befestigten Themometers.

Nun nehme man aus der Tafel die Sättigungsstufen, die jedem der Gemische bei den beobachteten Temperaturen entsprechen. Auf diese Weise erhält man die vom Haarhygrometer angegebenen Grade für genau bestimmte und fast gleichmäßig über die Scale ausgebreitete Sättigungsstufen, man hat folglich alle erforderlichen Elemente, um durch Interpolation die Tafel seines Hygrometers zu berechnen.

Sonach kann das Hygrometer von jedem Beobachter graduirt werden. Die Zubereitung der normalen Schwefelsäure-Gemische kann keine Schwierigkeit darbieten. Am besten bereitet man sie wenn man käufliche Schwefelsäure mit so viel Wasser versetzt, daß man das Gemisch $SO_3 + 4 H_2O$ bekommt. Dabei entwickelt sich viel Wärme, und da demnach immer Wasser verdampft, besitzt die Flüssigkeit nie den rechten Gehalt. Man ermittelt daher durch eine sehr sorgfältige Analyse die Zusammensetzung dieser Flüssigkeit und bedient sich ihrer alsdann zur Darstellung der übrigen Gemische.

In wohl verschlossenen Gefäßen kann man diese Flüssigkeiten sehr lange aufbewahren, und sich derselben zur Graduirung des Instrumentes so oft man will bedienen.

Die wichtigste Bedingung ist, den Glashafen mit dem Hygrometer an einen Ort zu stellen, wo die Temperatur nur sehr langsam wechselt, damit die Flüssigkeit wirklich die vom Thermometer angezeigte Temperatur besitze. Zu diesem Behufe stellte R. den Glashafen in einen Holzkasten, der seitwärts eine Thüre hat, die man nur im Moment der Beobachtung öffnet.

Es ist leicht, den Deckel des Glases mit einer Metallfassung zu versehen, mittelst dessen es zu Evacuiren mit einer Luftpumpe verbunden werden kann. R. hat gefunden, daß das Hygrometer über demselben Gemisch und bei derselben Temperatur in der Luft und im Vacuo dieselbe Angabe liefert, daß es aber im Vacuo einen weit rascheren Gang hat, und nur wenige Minuten er-

fordert, um einen festen Stand zu erreichen, selbst wenn die Sättigungsstufe sehr gering ist.

R. hat zur Bildung der Hygrometertafel einen anderen zwar schwieriger aufführbaren Proceß angewandt, der aber erlaubt die Graduirung in sehr kurzer Zeit zu vollziehen und dieselbe bei verschiedenen Temperaturen mit großer Genauigkeit zu studiren. Eine Glasglocke VV', etwa 15 Liter fassend, ruht auf einem Sockel von Gußeisen, in einer Ruthe, die mit einem leicht schmelzbaren Kitt ausgegossen worden, wodurch sie unten hermetisch verschlossen ist. Diese Glocke trägt eine Fassung A mit mehreren Tubulaturen. Die mittelste derselben o umschließt ein sehr genaues Thermometer; an die zweite sind gelöthet: erstlich ein Bleirohr cd, welches zum barometrischen Manometer führt, und dann ein Rohr ef, welches mit der Luftpumpe verbunden ist; die dritte Tubulatur endlich, die einen Hahn besitzt, ist durch Kittung mit einem kleinen Ballon voll Wasser verbunden.

Die Glocke wird in ein größeres Gefäß voll Wasser gestellt, und letzteres wiederum in einen gußeisernen Kessel voll Wasser, das mittelst einer Weingeistlampe erwärmt wird, wenn man das die Glocke umgebende Wasser auf eine feste und höhere Temperatur, als die der umgebenden Luft, erheben will.

Unter der Glocke sind vier Hygrometer angebracht; zwei versehen mit Haaren, die durch eine Lösung von kohlensaurem Natron zubereitet worden; eins mit einem Haare, das durch Aether entfettet worden; und ein viertes endlich, worin ein Coconfaden aufgezogen ist.

Man evacuirt erstlich bei geöffnetem Hahn P, dann schließt man diesen Hahn, und evacuirt sehr oft, wobei man jedesmal trockne Luft sehr langsam eintreten läßt, und trocknet sonach die Glocke vollständig aus. Endlich evacuirt man noch so vollständig wie möglich, und trennt die Luftpumpe ab.

Man mißt am Kathetometer den Höhenunterschied der beiden Säulen des barometrischen Manometers, wodurch man die Spannkraft der im Apparat zurückgeblie-



denen trocknen Luft findet. Man versichert sich, daß das Vacuo sich vollkommen hält.

Um in die Glocke eine kleine Menge Feuchtigkeit zu bringen, öffnet man den Hahn P auf einige Augenblicke, und schließt ihn dann wiederum. Die Spannung des eingeführten Dampfes mißt sich durch den Unterschied der Kuppen beider Quecksilbersäulen. Das Wasser um die Glocke wird häufig bewegt, und auf einer stationären Temperatur erhalten.

Die Hygrometer nehmen ihren Gleichgewichtszustand sehr rasch an. Wenn es geschehen, notirt man ihren und des Thermometers T Stand, und mißt die Spannkraft des Wasserdampfes.

Um eine neue Menge Dampf einzuführen, öffnet und schließt man den Hahn r, wiederholt dieselben Bestimmungen, und so fort, bis der Raum auf den Sättigungszustand gebracht ist.

Da die Temperatur sich während der Versuche nicht merklich geändert, so erhält man über die Hygrometergrade eine Tafel für verschiedene Sättigungsstufen, die einer selben Temperatur entsprechen.

Es ist leicht, eine zweite Reihe von Bestimmungen bei höherer Temperatur zu machen, indem man die Glocke abermals austrocknet, und auf beschriebene Weise verfährt. Man kann sich alsdann versichern, ob die beiden Tafeln, welche man nun hat, identisch sind.

Sucht man nun für ein Hygrometer eine Tafel zu entwerfen, so braucht man nicht die Glocke in Wasser zu halten, sondern kann die Versuche in der Temperatur der umgebenden Luft anstellen; doch muß diese Temperatur etwas hoch sein, denn bei sehr niedrigen Temperaturen sind die Spannkräfte des Wasserdampfes zu klein, als daß man sie mit hinreichender Genauigkeit messen könnte.

§. 2.

Von dem Daniell'schen Condensations-Hygrometer.

Le Roy von Montpellier, hat zur Bestimmung des hygrometrischen Zustandes der Luft zuerst vorgeschlagen, Wasser in einem Gefäße durch Zusatz kleiner Mengen Eis so weit zu erkälten, bis auf der Außenwand sich ein Niederschlag zu bilden anfängt. Die Temperatur, welche das Wasser in diesem Momente zeigt, ist diejenige, bei welcher die Luft durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf vollständig gesättigt sein würde. Bezeichnet t die Temperatur der umgebenden Luft, t' die des Wassers im Gefäße, f und f' die diesen Temperaturen entsprechenden Spannkräfte des Wasserdampfes, so wird $\frac{f'}{f}$ die Sättigungsstufe der Luft sein.

In den meisten Fällen hält es schwer, das zu diesem Versuche nöthige Eis zu bekommen. Einige Physiker haben daher vorgeschlagen, die Senkung der Temperatur des Wassers im Gefäß durch Auflösung gewisser Salze, wie salpetersaures Ammoniak, zu bewerkstelligen. Allein wenn die Luft sehr trocken und die Temperatur sehr hoch ist, hält es oft schwer, die Temperatur so weit zu erniedrigen, daß ein Thaubeschlag entsteht.

Das Verfahren von Le Roy ist erst brauchbar geworden durch das Condensations-Hygrometer von Daniell (4). Bekanntlich besteht dies Instrument aus zwei Kugeln A und B, die durch eine weitere gekrümmte Röhre verbunden sind. Die Kugel A ist etwas über ihre Hälfte mit Aether gefüllt, und die Röhre enthält ein sehr empfindliches Thermometer dergestalt, daß dessen Behälter sich in der Mitte der Kugel A befindet und in die oberen Schichten des Aethers eintaucht. Man macht den kleinen Apparat vollkommen luftleer, und verschließt ihn dann vor der Lampe. Die Kugel B ist mit Battist umhüllt, und auf diesen gießt der Beobachter

mittelst einer Pipette tropfenweise Aether. Die Verdampfung des Aethers in der Luft bewirkt eine bedeutende Erkältung der Kugel B, und dies veranlaßt eine Destillation des Aethers der Kugel A. Der Aether erkältet sich und kann bis unter die Temperatur sinken, bei welcher die Luft mit der in diesem Moment in ihr enthaltenen Dampfmenge gesättigt sein würde. Man sieht demgemäß auf der Kugel A einen Thau entstehen. Um die erste Bildung desselben sichtbarer zu machen, nimmt man zu Kugel A in der Regel ein tiefblaues Kobaltglas, oder bekleidet sie mit einem Ring von glänzender Vergoldung.

Die Erkaltung des Aethers in der Kugel A erfolgt hauptsächlich an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die Verdampfung geschieht; und da die Flüssigkeiten schlechte Wärmeleiter sind, so findet zwischen den oberen und unteren Schichten der Flüssigkeit ein merklicher Temperatur-Unterschied statt. Daher beginnt die Bethauung immer auf einem Ringe, welcher die Oberfläche der Flüssigkeit umgiebt, und erst später breitet sich der Beschlag über die ganze Oberfläche der Kugel aus. Es ist daher zweckmäßig, den Behälter des Thermometers in der oberen Schicht der Flüssigkeit anzubringen, und diesem Behälter möglichst kleine Dimensionen zu geben, damit der Verzug seiner Temperatur gegen die der umgebenden Flüssigkeit möglichst gering sei. Wenn man aber diesen Behälter sehr klein nimmt, werden auch die Grade des Thermometers sehr klein, und die Ablesung des Instruments wird unsicherer.

In geübten Händen kann der Daniell'sche Apparat annähernd die Temperatur der Bethauung geben, allein man kann sich auf eine absolute Genauigkeit nicht verlassen. Der Apparat bietet in der That mehrere Uebelstände dar.

Wir wollen hier nur anführen, daß im Aether die Temperatur in verschiedenen Schichten verschieden ist, daß ferner die lange Anwesenheit des Beobachters nahe am Apparate einen Einfluß auf die vorhandene Feuchtigkeit

ausübt, daß es ferner unmöglich ist auf der Kugel A einen Thau hervorzurufen wenn die Temperatur hoch und die Luft hier trocken ist. Endlich wollen wir noch hervorheben, daß der Aether selten rein, sondern stets mit mehr oder weniger Wasser gemengt ist, so daß bei der Verdampfung dann stets das Wasser störend auf den zu beobachtenden hygrometrischen Zustand einwirkt. —

In Folge dieser Thatsache sind außer den schon vorne bereits erwähnten ältern Verbesserungen auch in der Neuzeit einige hinzugekommen, von denen wir die von Pouillet ([5]) unter dem Namen Hygromètre à capsule und Hygromètre à virole nur hier anführen, auf die von Savary ([6]) jedoch etwas näher eingehen wollen.

§. 3.

Savary's Hygrometer.

Es besteht der Hauptsache nach das Hygrometer Savary's aus einem spiralförmigen Metallthermometer. Die sich ungleich ausdehnenden Elemente sind eine Lamelle von Platin, an welcher eine von Gold, gelöthet ist. Das Ganze ist in eine runde Platinkapsel eingeschlossen, deren eine Seite einen hervorspringenden Rand besitzt, um gleichzeitig als Becher zur Aufnahme einiger Tropfen Aether zu dienen. Die zur Angabe der Temperatur dienende Nadel befindet sich unter der Kapsel und empfängt ihre Bewegung von einer Axe, die durch die Mitte des untern Bodens geht. Diese Nadel ist doppelt und die eine ihrer Hälften kann durch einen Druck auf einen Sperrhaken plötzlich angehalten werden. Eine kleine Oeffnung auf dem cylindrischen Umfang der Platinkapsel erlaubt, die äußere Fläche des Metallthermometers zu sehen. — Auf diesen Theil der Fläche nun schlägt sich die Feuchtigkeit der Luft nieder, sobald durch die Verdampfung einiger Tropfen Aether, die auf den Deckel der Platinkapsel gebracht werden, diese Kapsel

und folglich auch das darin eingeschlossene Thermometer hinreichend erkaltet worden sind. Nothwendig ist, daß alle Theile des Metallthermometers gleiche Temperatur haben müssen. —

Dieses Instrument sowohl, wie das von Pouillet, zeigt aber folgenden Uebelstand, der wohl zu vermeiden ist: Die Fläche, auf der man die Bethauung beobachtet liegt sehr nahe, oft mitten in dem Raume wo man den zur Hervorbringung der Kälte bestimmten Aetherdampf entwickelt. Das Sinken des Thermometers wird hierbei beschleunigt, während es gerade verlangsamt werden soll, damit man sicher ist, daß zwischen der Temperatur der Wand, wo der Thau entsteht, und der, welche das Thermometer anzeigt, nur ein sehr kleiner Unterschied vorhanden sei. —

§. 4.

Regnault's Condensations-Hygrometer.

Diesen Uebelstand hat nun Regnault (7) in seinem Hygromètre condenseur (Condensations-Hygrometer) beseitigt. Die Einrichtung ist etwa folgende: Das Hygrometer besteht aus einem Würfelkästchen (d é) aus dünnem polirten Silber, 45 Millimeter hoch und 20 Millimeter Durchmesser. Es paßt genau auf ein an beiden Seiten offenes Glasrohr, das seitwärts tubulirt ist. Die obere Oeffnung ist so durch einen Kork verschlossen, daß ein Thermometer hindurch kann, das mit der Kugel im Silberkästchen steckt. Gleichzeitig geht durch denselben Kork eine offene Glasröhre bis auf den Boden des Kästchens. Man gießt Aether in die Röhre und verbindet die Tubulatur durch ein Bleirohr mit einem Aspirator, der 3 bis 4 Liter Wasser faßt. — Eine zweite Abänderung ist folgende: (Taf. VII, Fig. 6). Zwei Thermometer T und t sind in kleine silberne Gefäße getaucht, in welche die Glasröhren D und E gekittet sind. Durch den Pfropfen der Röhre D geht eine Glasröhre A

bis auf den Boden des Gefäßes, welches bis zur Hälfte mit Aether gefüllt ist. Das Gefäß D steht außerdem mit dem Aspirator G in Verbindung, E jedoch nicht. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fließt Wasser aus, eine Luftverdünnung in E tritt ein, und indem durch A andere Luft eindringt, wird die Bewegung und Verdunstung des Aethers bewirkt, indem gleichzeitig das silberne Gefäß erkaltet und bethaut. Die Beobachtung des Thaupunktes an T und der Lufttemperatur an t geschieht durch ein Fernrohr. Die Berechnung der Feuchtigkeitsmenge geschieht nach den Principien des Hygrometers von Daniell und soll kurz im Anhange später angedeutet werden. Später hat Regnault ([8]) vorgeschlagen, statt des Aspirators einen Brunner'schen Doppelaspirator zum Umwenden vorgeschlagen. Giebt man jedem Gefäße einen Inhalt von 10 bis 15 Liter, so kann man 20 bis 30 Beobachtungen machen, ohne ihn umzuwenden. Ferner schlägt R. vor, im Winter Aether und im Sommer Holzgeist zu den Beobachtungen anzuwenden. — Diese Idee Regnault's ist indeß nicht neu, da bereits Döbereiner ([9]) vorschlägt, ein Hygrometer, ähnlich dem Besprochenen zu construiren, nur statt des Aspirators eine kleine Compressionspumpe anzuwenden. Somit steht in der Mitte zwischen dem Döbereiner'schen und dem Hygrometer Regnault's das von A. Connell ([10]).

§. 5.

Hygrometer von A. Connell.

Ein Gefäß von dünnem Messingblech enthält den Aether, in welchem ein Thermometer ist, an welchem der Thaupunkt abgelesen wird. An den Stiel des Thermometers ist ein Pfropf von Messing gekittet, welcher in die Mündung des Messingbehälters luftdicht eingeschlossen ist. Die Verdampfung des Aethers wird durch eine mit dem Behälter communicirende Luftpumpe bewirkt.

Connell hat nun das Mittel der Temperaturen für den eben sich ansetzenden und wieder verschwindenden Thau genommen und diese als eigentlichen Thaupunkt bildende bezeichnet. Später hat Connell ([11]) wieder Verbesserungen an seinem nach dem Daniell'schen Principe construirten Hygrometer angebracht, die sich im Allgemeinen der Einrichtung Regnault's nähern.

§. 6.

Hygrometer von Appold.

Bei dem Hygrometer von Appold ([12]) verweisen wir auf die Originalabhandlung, die im Verhältniß zu den Leistungen des Instrumentes nichts Genaues darbietet. Es ist das Hygrometer so construirt, daß bei einer Aenderung von $\frac{1}{4}$ Grad im hygrometrischen Zustande der Luft ein Ventil geöffnet wird, aus welchem dann so lange Wasser auf erhitzte Röhren fließt, bis durch dessen Verdampfung der frühere hygrometrische Zustand der Luft hergestellt ist und das Ventil sich schließt. —

§. 7.

Hygrometer von Baumhauer.

Das Hygrometer von Baumhauer ([13]) giebt den Feuchtigkeitszustand der Luft nicht für kleine Zeiträume, sondern für längere Perioden an. Es wird die Luft durch ein Chlorcalciumrohr mittelst eines Aspirators gesogen. Um aber die zeitraubenden Wägungen zu umgehen, hat B. das Chlorcalciumrohr mit einem Aräometer verbunden, welcher auf Oel schwimmt, und da die Anzeigen des Aräometers an sich durch Einsinken nicht empfindlich genug sind, ist dasselbe an einen kurzen Hebelarm befestigt, dessen längerer sich an einem Gradbogen hin bewegt. Auf diese Weise ist noch eine Gewichts-

zunahme von 1 Milligramm bequem abzulesen. Das Ausführliche lehrt die citirte Abhandlung.

§. 8.

Atmidoscop von Babinet.

Aehnlich einigermaßen ist das Atmidoscop von Babinet (14) construirt, welches die Stärke der Verdampfung anzeigt, die je nach dem Grade der Trockenheit der Luft, ihrer Temperatur und Beweglichkeit in einem bestimmten Locale stattfindet. Ein Reservoir von porösem, plastischem Thone ist mit Wasser gefüllt und der Verbrauch wird an einer Röhre gemessen, die mit dem Reservoir in Verbindung steht. Dieses Instrument wird durch die Bewegungen der Luft afficirt und giebt die Totalwirkung von dem Augenblicke der Aufstellung bis zu dem der Beobachtung an. —

§. 9.

Atmidometer von Vogel und Reischauer.

Vogel und Reischauer (15) haben ein Atmidometer neuer Construction bekannt gemacht. Ein ungleichartiger Hebel ist an einem Ende zeigerförmig einem Gradbogen zugewendet, am andern Ende mit der Verdunstungsschale versehen und gehörig balancirt; aus einer neben dem Hebel befindlichen Meßröhre läßt man so viel Wasser zutröpfeln, bis die Gleichgewichtslage wieder hergestellt ist, und liest dann an jener Meßröhre die Menge des in der beobachteten Zeit verdunsteten Wassers ab. — Zweckmäßiger würde es sein, wie auch Kuhn meint, die Gleichgewichtslage des Hebels durch Gewichte herzustellen. Dann könnte man auch die Volumenmaße bei Bestimmung der verdunsteten Wassermenge ganz vermeiden.

§. 10.

Andrew's Integralhygrometer.

Andrews ([16]) hat gefunden, daß gewisse getrocknete pulverförmige Substanzen, wie schwarzes Manganoxyd, schwefelsaurer Kalk, alle Feuchtigkeit aus der sie durchströmenden Luft so volländig aufnehmen, daß eine später durchströmte Chlorcalciumröhre nicht an Gewicht zunimmt. Er verfertigt daher Glasröhren, die er mit diesen Substanzen füllt, und wendet sie als Hygrometer (Integralhygrometer) zur Controle der Daniell'schen und August'schen Psychrometer, oder zur Bestimmung der während längerer Zeit in der Luft enthaltenen Wassermenge an.

§. 11.

Condensations-Hygrometer von Belli und Sonklar.

Schon vor längerer Zeit hat Belli ([17]) ein Condensationshygrometer construirt, das unlängst von Sonklar ([4]) dahin abgeändert ist, daß er statt eines prismatischen Rohres ein cylindrisches aus Messing von 5 Wiener Zoll Länge und 9 Linien Durchmesser nimmt und den mittlern 2½ Zoll breiten Theil der Außenfläche, auf welchem die Thaugränze spielt, dicht vergolden läßt und das Rohr nicht mit Quecksilber, sondern mit Wasser füllt. Statt des Thermometers mit cylindrischem nimmt er ein kugelförmiges Gefäß, dem durch eine gezahnte Stange die gehörige Messung im Rohre beigebracht werden kann und ebenso die mit der Kältemischung aus Eis und Wasser gefüllte, unter das Rohr gesetzte Schale durch eine Schraube auf- und abwärts zu verschieben ist. —

§. 12.

Hygrometer von Majocchi.

Näher wollen wir auf das Hygrometer von G. A. Majocchi ([19]) eingehen. Man sieht dieses Hygrometer auf Taf. VIII, Fig. 1, abgebildet. Es besteht wesentlich aus 2 Glasröhren A B, a b von 88 Millimeter Länge, und das eine von 15, das andere von 5 Millimeter innerem Durchmesser, beide versehen unten mit einer Fassung und einem Hahn von Eisen, und durch einen Canal A a aus gleichem Metall mit einander verbunden. Das weitere Rohr A B hat oben eine Messingfassung mit Hahn, auf welche das ebenfalls mit einem Hahn versehene Messingrohr T aufgesetzt ist. Ein System von zwei Messingringen, welche respective die beiden Glasröhren A B, a b umschließen, wird getragen von einem Arme G, befestigt an einem Verbindungsstück, welches mittelst des Getriebes S beweglich ist, in einem der Ständer, die den ganzen Apparat halten. Mit diesem Systeme ist verbunden eine in Millimeter getheilte Scale und ein Nonius, welcher längs der Scale mittelst des Getriebes R verschoben werden kann. Die übrigen Theile des Instruments sind leicht aus der Figur verständlich.

Will man mit diesem Instrument die Luft an einem gegebenen Orte auf ihre Feuchtigkeit untersuchen, so füllt man mit ihr das größere Rohr A B. Zu dem Ende ist erforderlich, zuerst die darin enthaltene Luft auszutreiben: man nimmt also das Messingrohr T ab, öffnet den Hahn F und gießt in die Röhre A B das in dem Becher V enthaltene Quecksilber, welches hinreichen muß, dieselbe gänzlich zu füllen. Hierauf bringt man den Apparat an den Ort, wo man die Feuchtigkeit der Luft ermitteln will, und öffnet die Hähne d D. Das Quecksilber setzt sich in den beiden Röhren A B, a b in Niveau und fließt zugleich in den Becher V, der wieder in die große Röhre A B gestellt worden ist. Während sonach das Quecksilber abfließt, tritt die Luft des Orts durch

den Hahn F ein. Wenn in den beiden Röhren A B, a b nur noch wenig Quecksilber über der Fassung A a steht, schließt man den Hahn D, um das fernere Ausfließen desselben zu verhüten, bringt das Messingrohr T wieder an seinen Ort und verschließt den Hahn F, wodurch die zu untersuchende Luft in den Raum A B eingeschlossen ist. Durch Drehung des Getriebes S senkt man nun das System der beiden Ringe so weit, daß es mit seinem unteren Rande in Niveau kommt mit dem im Rohre zurückgebliebenen Quecksilber. Jetzt bringt man in die Messingröhre T einige Tropfen Wasser und hält sie mittelst des Hahnes G daselbst eingeschlossen. Oeffnet man darauf den Hahn F, so wird das am Boden desselben befindliche Quecksilber nach Verschluß des Hahnes, verdampfen, die eingeschlossene Luft sättigen und die Spannung vergrößern.

Demzufolge steigt das Quecksilber in dem kleinen Rohre a b über das im großen A B, und erreicht darin bald sein Maximum, ungeachtet noch etwas Wasser im großen Rohre vorhanden ist. Alsdann verschiebt man den Nonius N, mittelst des Getriebes R, bis sein unterer Rand wieder mit dem Quecksilber im Rohre a b in Niveau steht. Offenbar mißt alsdann die vom Nonius angegebene Zahl von Scalentheilen die Spannung des Dampfes, welcher zur Sättigung des Raumes A B erforderlich war, und diese Spannungen, abgezogen von der der Temperatur entsprechenden Maximum-Spannung, giebt die des bereits vorhandenen Dampfes.

Gesetzt, die Temperatur sei 20° C., so ist das Maximum der Spannung = 19,450 Millim. Hätte man nun, durch Sättigung des Raumes A B, mit Wasserdampf, eine Zunahme der Spannung = 3,5 Millim. beobachtet, so würde die Spannung des bereits in der Luft vorhandenen Dampfes = 15,950 gewesen sein. —

§. 13.

Regnault's hygrometrischer Apparat.

Veranlaßt durch diese Construction hat Regnault (20) einen (Taf. VIII, Fig. 2) abgebildeten hygrometrischen Apparat construirt.

Ein Ballon von sehr dünnem Glase, etwa 800 C. C. fassend, zeigt 2 Tubulaturen in o, mit dem Hahne r und der darauf stehenden getheilten Röhre st, und die andere versehen mit dem Hahne r', der durch die Röhre pq zum Aspirator führt. Die Röhren ab und cd sind bis zu einem auf ab gezogenen Striche, der dem Nullpunkte eines den Röhren angelegten Maßstabes entspricht, mit Quecksilber gefüllt. Man öffnet die Hähne und läßt den Aspirator wirken, der Ballon füllt sich mit atmosphärischer Luft und nun verschließt man die Hähne rr' und beobachtet an einem neben dem Ballon hängenden Thermometer die Lufttemperatur. — Nun gießt man etwas Wasser in die Röhre st, öffnet und verschließt sogleich wieder den Hahn r und läßt somit einen Tropfen, dessen Volumen man aus der Senkung des Wassers in der kleinen getheilten Röhre erkennt, in den Ballon fallen. Ist die Luft mit Dampf gesättigt, so führt man das Niveau des Quecksilbers auf den Strich mn zurück, indem man Quecksilber in die Röhre bc gießt. Alsdann hat man den Niveau-Unterschied beider Säulen zu messen. — Obwohl dieser Apparat vor dem von Majocchi Vortheile hat, hat er doch den Nachtheil, daß er zur Sättigung der Luft im Ballon mit Wasserdampf so langer Zeit bedarf, daß die Temperatur sich beträchtlich ändern kann.

§. 14.

Poggendorff's Hygrometer.

Poggendorff (21) hat vielleicht früher als Majocchi folgende Einrichtung bekannt gemacht:

Eine Messingscheibe von etwa 6 Zoll Durchmesser, die horizontal auf einem Gestelle ruhte, ist auf der oberen Seite eben geschliffen, nahe ihrer Mitte mit einer etwa einen Zoll weiten Vertiefung versehen und in der Mitte selbst durchbohrt, um eine unten angebrachte Uförmige offene Röhre luftdicht aufzunehmen. Diese Röhre enthielt Wasser oder Quecksilber und die Vertiefung auch etwas Wasser. Auf die Scheibe schob P. eine unten abgeschliffene und etwas gefettete Glasglocke, zunächst so, daß sie die mit Wasser angefüllte Vertiefung nicht einschloß. Die Luft in derselben befand sich also in ihrem natürlichen Zustande. Schob P. nun die Glocke weiter, so daß der kleine Wasserbehälter und der eine Schenkel der Uförmigen Röhre unter ihr zu stehen kamen, so sättigte sich die eingeschlossene Luft mit Feuchtigkeit, die Spannung wuchs, und demgemäß stieg die Flüssigkeit in dem andern Schenkel der gebogenen Röhre empor. Die Größe des Steigens ergab dann die Zunahme der Spannung. Um, zu einem neuen Versuch, die Glocke mit frischer Luft zu füllen, wurde sie abgehoben und einige Male herumgeschwenkt. Vielleicht wegen der Schwierigkeit, die eingeschlossene Luft während des Versuchs auf eine und dieselbe Temperatur zu erhalten, hat er indeß mit diesem Instrument keine recht zuverlässigen Ergebnisse bekommen können, und das hat ihn abgehalten, dasselbe bisher zu beschreiben. Eine bessere als die damalige Ausführung des Instruments würde jedoch wohl diese und andere Schwierigkeiten beseitigen lassen, wenn sonst das Verfahren vorzüglicher als die bekannten würde befunden werden, was er indeß einigermaßen bis jetzt bezweifelt.

§. 15.

Lefebre's und Orian's Untersuchungen.

Lefebre ([22]) hat den Condensationshygrometer Regnault's geprüft, indem er es gleichzeitig mit meh-

reren chemischen Hygrometern verglich und, gefunden, daß er sich überaus gut bewährte, während das von Daniell stark abweichende Resultate gab. — Drian([23]) hat an Regnaults Hygrometer einige Abänderungen gemacht, die das Instrument namentlich geeigneter zu Beobachtungen auf Reisen machen. —

§. 16.

Register-Hygrometer von Blackadder.

Wir führen hier noch, der Vollständigkeit wegen, das Registrir-Hygrometer von Blackadder([24]) an. — Die schon vorhin beschriebenen Uhrthermometer werden nämlich, bevor sie durch das Uhrwerk horizontal gestellt sind, mit Wasser feucht gehalten und zeigen somit die von dem jedesmaligen Feuchtigkeitszustande der Luft abhängende Verdunstungsscale an. Werden sie nun durch die Wagerechtstellung von dem Gefäß mit Wasser getrennt, und dagegen, entweder das Weingeistthermometer fortdauernd erwärmt, oder das Quecksilber durch irgend ein Mittel noch weiter und anhaltend erkältet, so ist klar, daß die Stiftchen in den Thermometern jene Verdunstungskälte anzeigen.

§. 17.

Literatur zur Hygrometrie.

Es mögen noch einige Angaben folgen, aus denen man auf die Art und Weise der Beobachtungen mit den erwähnten Hygrometern schließen kann. Wir wollen, da die Consequenzen der Hygrometrie eigentlich dem hier verfolgten Zwecke ferner liegen, nur kurz einige Thatsachen anführen. Die große Trockenheit in Mittelamerica ist durch Hygr. von Al. v. Humboldt untersucht, vergleiche Rél. histor. Vol. II. pag. 45, und Poggend. Annalen, Bd. 17, pag. 469. Ebenso von Humboldt

die große Lufttrockenheit in Sibirien (Pogg. Annalen, Bd. 23, pag. 102) und von d'Abbadie in Abyssinien (compt. rend. T. 21, pag. 962). Ferner mögen hier die von Quintus Icilius in Göttingen veröffentlichten Resultate über den Feuchtigkeitsgehalt der Luft im nördlichen Europa, Poggend. Ann. Bd. 84, pag. 285, erwähnt werden. — Vergleichende Beobachtungen zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft an der Erde und in verschiedenen Höhen sind namentlich genau von Welsh (Institut. 1852, pag. 283) angestellt, der bei zwei Luftfahrten durch zahlreiche Beobachtungen des Hygrometers nachgewiesen, daß die Spannung des Wasserdampfs von der Erde aus bis zu einer gewissen Gränze hin abnahm, und sich auf ein Minimum reducirte, während das Thermometer dort stationär blieb. Es war einmal die Höhe von 1523 Meter, das andere mal von 2438 Meter. Auch ist hier die Luftfahrt von Barral und Bixio in Paris 1850 zu vergleichen, die ausführlich in Compt. rend. T. 31, No. 5 enthalten ist. — Was die Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft betrifft, verweisen wir auf die trefflichen Arbeiten von Regnault in Pogg. Ann. Bd. 65, pag. 141; von Victor Pierre in Wien, Acad. Berichte 1841, April pag. 267; ferner Juni und Juli; von Hopkins, Institut. 1849, pag. 351, und Dove, in verschiedenen Abhandlungen, namentlich Berl. Acad. Ber. 1849, pag. 145 im Zusammenhange mit Pogg. Ann. Bd. 77, pag. 383, Bd. 22, pag. 219 und Bd. 58, pag. 177. — Hieran knüpfen sich die Untersuchungen über die Verdichtung von Feuchtigkeit auf kühlen Flächen, die mit den daraus hervorragenden Folgerungen von Dalmahoy in Edinb. Phil. Transact. 20 Part. II. pag. 299 und von Maille in compt. rend. 33, pag. 602 angestellt sind.—

J. Newmann hat in Phil. Mag. (4) IV. pag. 534 ein Instrument angegeben, welches dazu dienen soll, die von einer gewissen, der Luft ausgesetzten Wasserfläche, in gegebener Zeit verdampfende Wassermenge zu meteorologischen Zwecken zu messen. — Schließlich führen wir

hier noch von größern Arbeiten die vor der Pariser Academie gehaltene Vorlesung Humboldt's an, die in den Fragments de Géologie et de Climatologie asiatiques. T. II. enthalten ist: „Ueber die Temperatur und den hygrometrischen Zustand der Luft in einigen Theilen Asiens,“ (im Auszuge Pogg. Ann. 23, pag. 47). Die physicalischen und chemischen Beobachtungen in den Schweizer-Alpen von Gustav Bischof. Pogg. Ann. Bd. 37, pag. 259, und die Beobachtungen von Knorr in Kasan. Pogg. Ann. Bd. 42, pag. 647.

Das Psychrometer.

1) E. August: Ueber die Verdunstungskälte und deren Anwendung auf die Hygrometrie. Pogg. Ann. Bd. 5, p. 69, p. 335 und 564. Formeln für das Psychrometer. Pogg. 14, p. 137 und p. 437. Hygrometrische Beobachtungen auf dem Rigi und dem Faulhorn, von Kämtz. Pogg. Ann. Bd. 30, p. 46 und p. 66.

2) Regnault: in Ann. Chim. phys. [3] XV, p. 129 und Pogg. Ann. 88 p. 420.

2a) Regnault: Hygrometrische Studien in Pogg. Ann. Bd. 65 p. 343, auch Bd. 88 p 422.

3) W. Noble: in Phil. Mag. [4] XI, p. 304 und Instit. 1856, p. 270.

4) J. F. Miller: in Phil. Trans. Part. I, 141. Im Auszuge Phil. Mag. [4] I, p. 168.

5) Walferdin: in Compt. rend. 33 p. 454, auch Pogg. Ann. Ergänzungsbd. III, p. 471.

6) Gay-Lussac: in Ann. Chim. phys. T. 21 p. 91.

7) Playfair: in Transact. of the roy. soc. of Edinb. T. V, p. 67.

8) Ivory: in Philosoph. Mag. and Journal. Vol. 60, p. 81.

9) Leslie: in Gilbert's Ann. Bd. 5, p. 235.

§. 1.

August's Psychrometer.

Je trockner die Luft ist, desto schneller verdampft das Wasser und desto mehr wird die Umgebung erkaltet. Dieses ist die Theorie des Psychrometers von August, eines Instrumentes, dessen man sich zur Berechnung der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeitsmenge bedienen kann. Wir wollen hier die Construction des Instrumentes folgen lassen und verweisen diejenigen, die Weiteres darüber erfahren wollen, auf die betreffenden Quellen ([1]). Der Apparat besteht aus zwei ganz genau miteinander übereinstimmenden Thermometern, von denen die Kugel des einen mit Mousselin umgeben ist, zu dem ein Docht, der möglichst aufgerollt ist, führt, der in ein gefülltes Wasserschälchen getaucht ist. Da durch die Capillarität das Wasser auf die Mousselinhülle getrieben wird und dort verdunstet, wird durch die Verdunstung eine solche Kälte erzeugt werden, daß das Quecksilber in dem betreffenden Thermometer sinken muß, und zwar um so mehr, je trockner die Luft, je größer die Verdunstung ist. Es wird folglich der Unterschied in dem Stande der Thermometer, die psychrometrische Differenz, um so größer sein, je weniger die Luft vorher mit Wasserdünsten gesättigt war. Zeigt nun z. B. das trockene Thermometer 20°, das befeuchtete 15° C., so wird die Luft, welche an der feuchten Kugel vorbeistreift, auf 15° erkaltet und mit Wasser gesättigt sein. Nach der Berechnung (eine ausführliche Tabelle soll später im Anhange folgen) enthält aber nachher 1 Cub. Meter desselben 12,8 Gr. Wasser. Da die Luft aber selbst noch Wasser am Thermometer aufnahm, so enthielt sie vorher weniger als 12,8 Gr. Offenbar aber nimmt sie um so mehr Wasser auf, je mehr Wärme sie beim Erkalten, also hier um 5°, an das feuchte Thermometer abgiebt. Daraus folgt, daß die aufgenom-

mene Wassermenge der Temperatur-Differenz nahezu proportional ist. Deshalb kann die Menge des in Gasform beim Vorüberstreichen der Luft von ihr aufgenommenen Wassers durch k (t—t') bezeichnet werden. Um nun die Menge des Wasserdampfes zu finden, welche die Luft ursprünglich enthielt, hat man die erwähnte Quantität von der Menge, welche die Luft nach dem Vorbeiziehen an dem nassen Thermometer, also hier bei 15°, enthielt, abzuziehen. —

Da nun bei 15° 1 Cub. Meter Luft mit 12,8 Gramm gesättigt war, so enthielt vorher 1 Cub. Meter Luft nur

12,8—k (t—t') Gramm Wasser.

Die Constante k variirt nach den Untersuchungen mit dem Hygrometer Daniell's und Regnault's zwischen 0,65 und 0,54. Setzt man nun k als Mittelwerth 0,6 und bezeichnet die Wassermenge, die bei der Temperatur des befeuchteten Thermometers 1 Cub. Meter Dampf enthält, durch M, so ergiebt sich der wahre Wassergehalt der Luft in 1 Cub. Meter.

$$W = M - 0{,}6\ (t-t').$$

Wir hatten aber eben $M = 12{,}8$ und $t - t' = 5$, also ist $W = 9{,}8$ Gramm. Folglich erfahren wir, daß jedes Cubikmeter Luft in diesem Augenblicke 9,8 Gramm Wasser enthält.

§. 2.

Regnault's Psychrometrie.

Regnault (²) hat sich vielfach mit dem Psychrometer beschäftigt und ausführlich die Entwicklung der strengen Formel aus den beiden abgelesenen Thermometerständen und dem Barometerstande hergeleitet, um die herrschende Dampfspannung zu berechnen. Er zeigt, daß es möglich ist, durch eine Reihe von Vereinfachungen auf die August'sche Formel

$$x = f' - A\ (t - t')\ H$$

zurückzukommen. Es sind hier wiederum t und t' die Temperaturen der beiden Thermometer, f' das Maximum der Spannkraft bei der Temperatur des benetzten Thermometers, H der Barometerstand, beide letztere in Millimeter ausgedrückt. A ist unter diesen Umständen nach August 0,0006246. — Regnault hat indessen nachgewiesen, daß die Bedingungen: die Luftschichten, welche das benetzte Thermometer umgeben, seien stets mit Feuchtigkeit gesättigt, haben gleiche Temperatur mit dem Thermometer und erneueren sich mit unbegrenzter Geschwindigkeit, niemals erfüllt würden, daß namentlich die Geschwindigkeit der Luftströmung, welcher das Instrument ausgesetzt ist, die Strahlung der umgebenden Gegenstände und die absolute Höhe der Temperatur und des Feuchtigkeitsgrades auf das Resultat von wesentlichem Einflusse sind. — Trotzdem will Regnault den August'schen Ausdruck beibehalten wissen, wenn auch nur als einen empirischen, wünscht jedoch, daß jedesmal die Constante A für jede besondere Aufstellung des Psychrometers durch genaue Vergleichung mittelst der chemischen Methode festgesetzt werde. — Regnault zeigt nun an einer großen Zahl von Beispielen ([2] a), wie verschieden der Coefficient A wird und schlägt vor, die Bestimmung desselben bei Feuchtigkeitsgraden vorzunehmen, die möglichst weit vom Sättigungspunkte abstehen und zwar für zwei verschiedene Lagen der Thermometerscalen. — Noble ([3]) hat ebenfalls über diesen Gegenstand eine Arbeit veröffentlicht, indem er für ein August'sches Psychrometer durch Vergleichung mit einem von Regnault verbesserten Daniell'schen Hygrometer die Werthe von f in der erwähnten Formel $T = t - f(t - t')$ bestimmt. Er hat genauer das Intervall von $- 26{,}7^{\circ}$ bis $+ 10{,}6^{\circ}$ C. untersucht und nun auch Verschiedenheiten gefunden, so daß f an der untern Grenze jenes Intervalles 37,8 war, bei $0^{\circ} = 3{,}5$, bei $+ 10^{\circ} = 2{,}3$. Inwiefern diesem Uebelstande abzuhelfen, ist bereits vorhin erwähnt. Aehnliche Angaben

finden wir von Glaisner, dessen erlangte Resultate durch Miller ([4]) empfohlen werden. —

§. 3.

Walferdin's Psychrometer.

Walferdin ([5]) hat ein neues Hygrometer construirt, welches das von August ersetzen soll. Es besteht aus einem Alkoholthermometer von äußerst feinem Faden mit einem Quecksilbertröpfchen als Index. Es ist nach dem Principe der früher erwähnten Walferdin'schen Differentialthermometer construirt. Die Länge des Stiels beträgt 3 Decimeter, so daß bei einem Spielraume von 15°, der Grad noch in mehr als 50 Unterabtheilungen getheilt ist. Zunächst wird nun das Thermometer mit trockener Kugel an einer 10 bis 15 Centimeter langen Schnur im Kreise herumgeschwenkt, dann wird die Kugel mit feuchtem Battist überzogen und wieder die Schwenkung vorgenommen. Die Differenz der beiden beobachteten Temperaturen soll nun schärfer als bei dem Ablesen am August'schen Hygrometer abzulesen sein. — Es ist wohl bis jetzt nicht gelungen, durch diese Construction die ursprüngliche zu verdrängen, auch Regnault versagt dem Apparate seinen Beifall. —

§. 4.

Historisches über das Psychrometer.

Die französischen Physiker nennen gewöhnlich Gay-Lussac ([6]) als denjenigen, der 1822 zuerst das Psychrometer construirte. Dieses ist indeß eine nicht richtige Thatsache, da bereits 1792 Hutton ([7]) zu Edinburgh versuchte, die Verdunstungskälte, gemessen durch ein trockenes und ein benäßtes Thermometer, zur Ermittelung des Feuchtigkeitszustandes der Luft zu benutzen. Nach genauern Untersuchungen hat sogar schon Ivory ([8])

1790 eine Formel aufgestellt, die zur Berechnung des Feuchtigkeitszustandes der Luft aus der Verdunstungskälte diente. Die Behauptung Leslie's (°), der im Jahre 1799 sein Differentialthermometer zu gleichem Zwecke vorschlug, — er habe schon 1790 die Verdunstungskälte angewendet, und dadurch das Prioritätsrecht in Anspruch nimmt, müssen wir unerörtert lassen, da ordentliche Beweise fehlen. — Nach diesen Quellen hat nun August, wie vorhin erwähnt, sein Psychrometer construirt und hat theoretisch einen Ausdruck für die Spannkraft des zur Zeit des Versuches in der Luft vorhandenen Wasserdampfs, die er mit x bezeichnet, aufgestellt:

$$x = \frac{1 + \frac{\gamma}{\delta\lambda}(t-t')}{1 + \frac{k}{\lambda}(t-t')} f' - \frac{\frac{\gamma}{\delta\lambda}(t-t')}{1 + \frac{k}{\lambda}(t-t')} H.$$

wo t die Temperatur des trockenen Thermometers, t' die des befeuchteten, f und f' die Spannkräfte des Wasserdampfes bei der Sättigung und bei den Temperaturen t und t' bezeichnen. H ist der Barometerstand zur Zeit der Beobachtung, γ die specifische Wärme der trocknen Luft, k die des Wasserdampfes, δ die Dichte des Wasserdampfes und λ die latente Verdampfungswärme des Wassers in Luft von der Temperatur t'.

Wie nun schon vorhin angeführt, hat Regnault die Constanten bestimmt, mehrere Glieder, die innerhalb der Beobachtungsgrenzen stets nur sehr kleine Werthe erlangen, fortgelassen, und ist zu der einfachen Formel gelangt:

$$x = f' - 0{,}0006246\ (t - t')\ H,$$

die von der ersten complicirten Formel in ihrem Resultate nur um 0,01 abweicht. —

Die Untersuchungen Regnault's sind nächst denen von August die ausführlichsten und gediegensten. Die vorhin erwähnte Construction Walferdin's ist deshalb nicht bei genauen Beobachtungen zu verwerthen,

weil der Beobachter zu nahe an dem Instrumente sich befindet und diese Nähe nachtheilig auf den hygrometrischen Zustand der Luft wirkt. Ferner vergeht stets zwischen den beiden Ablesungen von t und t' eine längere Zeit, so daß man nicht sicher ist, ob die beiden Temperaturen demselben Zustande der Luft entsprechen, zumal im Freien, wo die Bewegung der Luft variirt. — Jedenfalls darf der daraus entspringende Fehler, der auf die Temperaturdifferenz t—t' influirt, nicht vernachlässigt werden, wie Walferdin es freilich gethan hat. Um nun den Einfluß des veränderlichen Luftzuges zu vermeiden, hat Belli vorgeschlagen, das Psychrometer in eine Röhre einzuschließen und das eine Ende der Röhre mit der Luft, das andere mit einem doppelten Blasebalg (soufflet aspirant à double effet) communiciren zu lassen. Es ist aber wohl einzusehen, daß durch den starken Luftstrom des Blasebalges sehr bedeutend variirende Wirkungen auf die Thermometer ausgeübt werden, außerdem aber für den Beobachter die Unbequemlichkeit entsteht, für jede angewandte Geschwindigkeit des Luftstroms den zugehörigen Werth von A durch directe Versuche zu bestimmen. Daß somit kein Vorzug durch diese Construction erreicht ist, läßt sich leicht einsehen.

Das Barometer.

---

§. 1.

Kurze Uebersicht über die Geschichte des Barometers.

1) Aristotelis Physica. 50. IV. cap. 6.
Heronis Alex. Spirit. Par. 1593. Fol. Amst. 1680. VI.
2) Ren. Cartesii Epistolae. Amst. 1682. Vol. II. et III.
Galilei, Discorsi e Demonstrazione mathematiche intorno a due nuove scienze. Leid. 1638.
S. Schott: Technica. Cur. III.
3) Experiences nouvelles touchans le vide. Paris 1645.
4) Traité de l'Equilibre des Liqueurs et de la Pesanteur de la Masse de l'air. Par. 1663.
5) Muschenbroek in Tentam. Experim. pag. 49.
6) Ars nova et magna gravitatis et levitatis. Roterod. 1669. edid. Sinclair. Durch ihn der Name Barroscop.
7) Schott: Mechanica hydraulicopneumatica. Herbip. 1657.
8) System of Mechanical Philos. by J. Robinson. Edinb. IV.
9) Schott: Technica curiosa. Norimb. 1664.
10) Kästner: Anfangsgründe der Mathematik. V. pag. 182.
11) Mémoires de l'Académie. X. 375. Auch Journal des Savans. 1672. pag. 139. Auch in Gilberts Annalen.
12) Muschenbroek: Intent. II. p. 2081. Auch de la Hire in Mémoires de l'Académie. 1708.
13) Philosophical Transactions. I. pag. 216.
14) Philosophical Transactions. 51. pag. 146 and 60. p. 74.
15) Bulletin des Sciences. An. VII. p. 176.

16) Brugnatelli: Giornale. X. 189.
17) De Luc: Recherches sur les Mod. de l'Atirn. II. §. 464.
18) Ueber Loos vergleiche Benzenberg bei Gehler. 36. 353.
19) Scheerer's Journal. II. 911.
20) Annales de Chimie. 47. pag. 213.
21) Journal de Physique. 29. pag. 345.
22) Green Journal. 7. pag. 238.
23) Nicholson Journal, Nr. 55, oder Phil. Magazin. Nr. 117.
24) Journal de Physique. 53. pag. 444.
25) Lichtenberg: Magazin. II. 1. 129.
26) Rosenthal: Beiträge zur Verfertigung meteorologischer Werkzeuge. pag. 30.
27) Leutmann: Instrumenta meteorognosiae inservientia. 1725.
28) Luz: Beschreibung von Barometern.
29) Voigt: Beiträge zur Verfertigung und Verbesserung des Barometers. Frankfurt 1795.
30) Journal de Physique. 21. pag. 436.
31) Transactions of the Royal Irish. Acad. V. pag. 95.
32) Bourbon in Mémoires de l'Academie. 1751. p. 173.
33) Brisson: Mémoires de l'Acad. 1755. p. 140.
34) Ramsden in Philosophical Transactions. 1777. p. 658.
35) Adams: On the Barometer. London 1790.
36) Lichtenberg: Magazin. I. 111. pag. 98.
37) Transactions of the Royal Irish. Acad. IV.
38) Amoutons dans: Rémarques et expériences physiques sur les Baromètres. Paris 1695.
39) Blondeau in Lichtenberg. Magazin. I. 3. 80.
40) Passement in de Luc Recherches sur la baromèt. I. 34.
41) Prechtl im Jahrbuch des k. k. polytechnischen Institutes in Wien. 432. Vol. 284.
42) Philosophical Transactions. 24. pag. 1597.
43) Amouton in Mémoires de l'Acad. 1688. T. II.
44) Voigt's Magazin. V. 248.
45) Journal de Physique. IV. 468.
46) Landriani in Giornale Brugnatelli. X. p. 192.

Sonst führen wir der Vollständigkeit wegen hier noch folgende Schriften an:

Benzenberg: Beschreibung eines einfachen Reisebarometers. Düsseldorf 1811.

Fischer: Das Barometer als Witterungsanzeiger. Wien 1827.

Die hier angegebene Construction des Barometers wird jetzt bisweilen noch beibehalten.

Greiner: Das neue Thermo-Alkoholometer nebst Barometer. Berlin 1827.
Körner: Anleitung zur Anfertigung übereinstimmender Thermometer und Barometer. Jena 1824.
Nicholson: Kenntniß, Verfertigung u. s. w. aller Arten von Barometern. Quedlinburg 1834.
Winkler: Beschreibung eines verbesserten Reisebarometers. Wien 1821.

Von ältern Schriften:

Voigt: Verbesserung und Verfertigung von Barometern. Leipzig 1799
Hollmann: Wichtiger Unterricht von Thermometern und Barometern. Göttingen 1785.
Lutz: Beschreibung von allen bisher bekannten und auch neuern Barometern. Nürnberg 1784.

Schon seit Aristoteles (¹) erklärte man die bekannten Erscheinungen, die sich beim Steigen des Wassers nur bis zu einer bestimmten Höhe in den Saugepumpen und in den Heberschenkeln zeigen, als durch den Abscheu der Natur gegen den leeren Raum (horror vacui), und erst Galilei (²) — angeregt durch einen Gärtner in Florenz, der trotz aller Bemühungen nicht das Wasser über 32 Par. Fuß heben konnte — machte die ernstesten Studien über diesen Gegenstand. — Fälschlich wird von Biot (Traité, I. pag. 69) angegeben, Galilei hätte sich über die Brunnenmeister lustig gemacht, obgleich das Verständniß ihm selbst abginge (Montucla Hist. des Math. II. 203.). — Sein Schüler, Evangelista Torricelli, setzte die von ihm begonnenen Untersuchungen fort und construirte 1643 die erste Quecksilbersäule, die dem Luftdrucke den gleichen Widerstand entgegensetzte. Er erkannte, daß die Länge der gefundenen Quecksilbersäule multiplicirt mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers, gerade die Höhe gab, bis zu welcher das Wasser in der Saugpumpe gestiegen war, und somit folgerte er richtig, daß ein dem jedesmaligen Drucke der Flüssigkeit proportionaler Gegendruck der Luft der Grund dieser Erscheinung sei. Somit war das erste Barometer

(βάρος Schwere, μέτρον Maß, daher identisch mit Schweremesser, barometrum, baromètre, Baroscopium, Barroscope, Baroscop u. s. w.) construirt. Torricelli theilte diese Thatsachen Mersenne ([3]) mit, der freilich den horror vacui noch vertheidigte, indeß durch Pascal und Cartesius eines Besseren belehrt wurde, indem diese beiden Gelehrten mit dem ihnen eigenen Scharfsinne richtig schlossen, daß — wenn die Luft einen Gegendruck auf das Quecksilber ausübe, dann der Druck auf einem Berge ein geringerer sein müsse. Perrier wurde veranlaßt, den Puy de Dome zu besteigen, und dieser fand in der That, daß die Quecksilbersäule an Höhe verlor. Dieses war somit der erste, freilich sehr rohe Versuch einer Höhenmessung durchs Barometer. Pascal bearbeitete nun wissenschaftlich die Theorie des atmosphärischen Luftdruckes und beschäftigte sich damit bis an sein Lebensende, so daß erst nach seinem Tode, der am 19. August 1662 erfolgte, sein classisches Werk erscheinen konnte([4]). Sehr bald untersuchten die Gelehrten der verschiedensten Länder die Torricelli'sche Quecksilbersäule, und die Mitglieder der Academia del Cimento ([5]) sowohl, als auch Pecket, Power in England und Sinclair ([6]) in Glasgow überzeugten sich von der Wahrheit und verbannten den horror vacui, dem sie so lange gehuldigt hatten ([7]). Auzont ([8]) construirte nunmehr einen sinnreichen Apparat, durch den er noch deutlicher die Wirkungen der Atmosphäre auf die Quecksilbersäule nachwies. Man wollte indeß noch an größeren Maßstäben das Steigen und Fallen der Säule beobachten und griff zu dem Mittel, welches schon Cartesius vorgeschlagen hatte, nämlich am obern Ende die Röhre zu erweitern, an diese Erweiterung eine enge Röhre anzuschmelzen und den Raum über dem Quecksilber durch eine gefärbte Flüssigkeit, Wasser oder Weingeist, auszufüllen. Ja es scheint sogar, daß man Metallröhren, die mittelst Leder zusammengeschroben waren, mit Wasser füllte und an diesen die Veränderung des Luftdrucks zeigte. Wenigstens scheint Otto von

Guericke [9] 1654 auf dem Reichstage in Regensburg, wenn wir die beschriebene Erscheinung richtig deuten, ein ähnliches Instrument vorgezeigt zu haben, so daß noch später die deutschen Physiker Hansen, Winkler und Ludwig [10] in Leipzig damit experimentirten.

Huygens [11] war der Erste, welcher nach Torricelli eine wesentliche Verbesserung veröffentlichte. Er construirte ein Doppelbarometer, das später nach ihm benannt wurde. Auch er schlug vor, gefärbtes Wasser mit $\frac{1}{8}$ Scheidewasser gemischt auf das Quecksilber zu gießen, um die Schwankungen noch deutlicher wahrnehmen zu können, und Dr. Hooke [12] wollte dieses Barometer dadurch verbessern, daß er auf die leichtere Flüssigkeit eine andere, an Farbe verschiedene, aber von möglichst gleichem specifischen Gewichte, als das des Weingeistes gegossen haben wollte, um dann die Barometerveränderungen an der Grenze beider leichteren Flüssigkeiten beobachten zu können.

Hooke construirte dann später das Radbarometer (wheel barometer), welches längere Zeit gebräuchlich blieb. Auf dem Quecksilber in dem kürzern Schenkel (das Doppelbarometer Huygens war zum Muster genommen) schwimmt ein elfenbeinernes Gewichtchen, das mit einem Faden um eine Welle des Zeigers geschlungen, ein Gegengewicht so trägt, daß beim Sinken oder Steigen des Quecksilbers der Zeiger links oder rechts gedreht wird. Eine unwesentliche Verbesserung hat später Fitz Gerald [14] angebracht. Aehnlich war das Barometer von Coke eingerichtet, nur war es von einer so bedeutenden Größe, daß beim Sinken und Heben des Quecksilbers ein Gewicht so hoch, respective so tief gehoben und gesenkt wurde, daß eine Uhr in Gang erhalten wurde. Diese Einrichtung wurde als perpetuum mobile längere Zeit gezeigt. Auf ganz ähnlichen Einrichtungen beruht auch Prony's [15] Waagebalken-Barometer, das später wenig verändert von Landriani [16] empfohlen wurde, jedoch höchst complicirt gebaut und somit unpractisch war. Zweckmäßiger ist

Morland's Schnellwaage-Barometer (the steelyard Barometer), welches so eingerichtet ist, daß das gefüllte Barometer an dem kürzern Arme eines Hebels balancirt, während der längere Hebelarm an einem getheilten Bogen bestimmte Grade durchläuft. Als eine wesentliche Verbesserung ist das Barometer von Johann Bernoulli zu betrachten, das er der Pariser Academie vorlegte. —

Der Erste, welcher das Barometer zum Messen der Höhen anwandte, war de Luc. Er mußte dem Instrumente eine solche Einrichtung geben, daß beim Biegen und Wenden nicht das Quecksilber ausfließen konnte. Dieses erlangte er dadurch, daß er den kürzern Schenkel nahe über der Krümmung abschnitt und durch eine Hülse mit einem Guerick'schen Hahne trennte, so daß dieser, nachdem man das Barometer geneigt, um das sämmtliche Quecksilber bis auf eine unbedeutende Kleinigkeit in den längern Schenkel zu bringen, nach dem Umdrehen alle Gemeinschaft desselben mit dem kürzeren Schenkel abschneidet. Auf diese Weise machte de Luc ([17]) das Barometer transportabel (baromètre portatif, portable) und construirte somit das erste Reisebarometer in der Form eines Heberbarometers. Später ist dieses Barometer durch den Mechaniker Loos ([18]) in Darmstadt verbessert. Sehr zweckmäßig wurde später von Goedeking ([19]) ein Reisebarometer construirt, und auch Maigné ([20]) veröffentlichte um dieselbe Zeit die Construction eines brauchbaren Instrumentes. Auch Hurter's ([21]) Gefäßbarometer, durch Haas ([22]) später verbessert, wurde beifällig aufgenommen, ist aber nicht so bequem, wie das von Englefield ([23]) vorgeschlagene, das in einen in drei Füße zerlegbaren Stock so eingeschlossen wurde, daß, wenn dieser als Stativ aufgestellt wird, das Barometer stets durch sein eigenes Gewicht eine lothrechte Stellung einnimmt. Hieran schließen sich die Barometer von Guerin ([24]) und Horner ([25]), der das erste Stockbarometer construirte, welches des leichten Transportes wegen eine Zeit lang sehr

beliebt war, und von Fortin, das wir später noch besonders hervorheben und besprechen werden, da es ein ausgezeichnetes Instrument war und mit einigen Veränderungen noch jetzt gebräuchlich ist. —

Für den Seemann ist das Barometer jetzt ein unentbehrliches Instrument geworden, da dessen sorgfältige Beobachtungen ihn vor vielen Gefahren warnen. Dieses erkannte man schon frühe und somit gab sich Nairne Mühe, für Capitän Thipps ein Barometer so zu construiren, daß die Schwankungen des Schiffes unschädlich gemacht wurden. Auch Gay-Lussac, Rosenthal (26) und Horner leisteten in diesen neuen Vorrichtungen Vortreffliches, so daß durch sie namentlich veranlaßt, eine Anzahl Physiker sowohl auf der See, als auch auf dem Lande transportable Barometer anfertigten. Wir nennen hier nur die Namen, ohne speciell auf die Abänderungen, die sie den Apparaten gaben, näher einzugehen. Es sind Leutmann(27), Luz (28), Voigt (29), Rozier (30), Hamilton (31), Bourbon (32), Brisson (32), Ramsden(34), Adams (35), Assier, Perier (36) und Gilbert Anotim (37).

Doch kehren wir speciell zu den dem Seemanne Nutzen gewährenden Instrumenten zurück, so ist hier wohl zunächst die Einrichtung von Amontons (38) als eine ältere zu erwähnen. Es besteht dieses Barometer aus einer engen conischen Röhre, die unten etwa 1''' breit, oben sich bis zu 0,3''' verengt und eine Länge von 40 Zoll hat. Sie ist auf einem einfachen Brette mit einer beweglichen Scale befestigt und kann frei schwebend aufgehängt werden. Ist sie gefüllt und ausgekocht, so nimmt die Quecksilbersäule in derselben, wenn sie das zugeschmolzene Ende berührt, einen Raum von mindestens 32 Zoll ein, und kann daher wegen des stark wachsenden Druckes auch bei den heftigsten Schwankungen nicht leicht diese Höhe erreichen, folglich auch nicht gegen das zugeschmolzene Ende schlagen und dieses zerschellen. Wird es dagegen aufgehängt, so sinkt die Quecksilbersäule herab, wird im weitern Ende dicker und da-

her kürzer, so lange, bis ihr Gewicht dem Drucke der Luft gleich ist. Später ist dieses Barometer durch Leslie verbessert. Wir erwähnen hier ferner das Barometer von Blondeau ([39]), dessen sich die französische Marine längere Zeit hindurch bediente, und das von Passement ([40]), der die Röhre, um das Zerschellen derselben durch das Quecksilber zu verhüten, in ihrer Mitte zweimal spiralförmig wand. Vortrefflicher ist die Construction von Nairne, die von Gay-Lussac auf das Heberbarometer angewendet und von Cook ganz allgemein eingeführt wurde. Ein Gefäßbarometer mit hölzernem Gefäße, unten mit einem Lederbeutel und einer Ramsden'schen Schraube versehen, um das Niveau damit zu berichtigen, hängt zwischen zwei Ringen nach Art der Cardanischen Lampe, frei schwebend in der Luft. — Nur durch die Poren des Holzes hat die Luft den Zutritt zu dem Quecksilber, welches jedoch dadurch vor dem Verschütten geschützt ist. Von der Glasröhre haben nur die obern 6 Zolle die Weite eines gewöhnlichen Barometers, der andere Theil ist etwa 0,5''' weit, so daß das Quecksilber bei den Schwankungen des Schiffes mit großer Schnelligkeit und mit Ueberwindung einer großen Adhäsionskraft den engen Canal durchlaufen muß, um in der weiten Röhre zu steigen oder zu fallen, wodurch die Oscillationen merklich geschwächt werden. —

Wir übergehen hier eine Reihe von Instrumenten, die unter dem Namen der Meerbarometer bekannt wurden, jedoch nur als Manometer zu bezeichnen sind, da sie häufig nur kurze Zeit, oft gar nicht im Gebrauche gewesen sind, und erwähnen noch das Baroscop von Prechtl ([41]), das namentlich zu Höhenmessungen angewendet wurde; das von Caswell ([42]), das unpractisch ist und auch auf nicht richtigen Grundprincipien beruht; das verkürzte Barometer von Amonton ([43]); Wilson's ([44]) Barometer mit einem im Quecksilber schwimmenden Stäbchen; Humboldt's ([45]) unbequemer Reisebarometer und Landriani's heberförmiges Reisebarometer.

§. 2.

Die Materialien zur Anfertigung des Barometers.

1) Buzengeiger, in einem Schreiben an Schumacher. Astronomische Nachrichten VIII., p. 249.
2) Henry, in Sill. Art. Journal (2) 22, p. 449, 1855.

Verweisen wir auch im Allgemeinen, was zunächst die beim Barometer anzuwendenden Materialien Glas und Quecksilber betrifft, auf das bereits in dem Abschnitte der Thermometrie Besprochene, so heben wir hier doch noch einige Punkte hervor, die für den Techniker von Wichtigkeit sind. Schon Buzengeiger (1) hebt hervor, daß sich bisweilen in den obern Glastheilen des Barometers Ringe bilden, die vor Allem auch das Ablesen der Quecksilberkuppe sehr erschweren. Buzengeiger hat schon früher gezeigt, daß nur das kalihaltige Glas diese Erscheinungen hervorruft, indem die Kalitheilchen durch die Hitze beim Zuschmelzen verflüchtigt, sich an die kältern Röhrentheilchen ansetzen. Wird nun noch das Quecksilber in der Röhre verflüchtigt, wie es durch das Kochen geschieht, so bildet sich Kali-Amalgam, welches das Glas trübt, sei es, daß diese Trübung einem Rauche ähnlich das Glas über dem Quecksilber färbt, oder Ringe rundherum bildet. — Auch jetzt zeigen sich noch diese und ähnliche, durch chemische Verbindungen entstandene, Färbungen, die nur durch die Anwendung des härteren Natronglases vermieden werden. —

Die Schwefelsäure, welche Henry (2) in seinem Schwefelsäure-Barometer, das aus einem 240 Zoll langem und $\frac{3}{4}$ Zoll weitem Rohre besteht, anwendet, muß von einem bestimmten specifischen Gewichte sein, und muß sie, damit dieses sich constant erhält und die Säure nicht Wasser aus der Luft an sich reißt, durch ein gefülltes Chlorcalciumrohr von der umgebenden Luft getrennt sein, damit die Feuchtigkeit der Atmosphäre dort haften bleibt.

Wir führen dieses hier nur der Vollständigkeit wegen an, da diese Barometer schwerlich allgemeine Verbreitung finden werden. —

Verfertigung der Barometer.

§. 3.

Behandlung der Glasröhren.

Die schon früher von den Physikern aufgestellten Thatsachen, daß die Dicke des Glases nicht stärker als 0,2 Linien zu wählen, weil dadurch das Auskochen erleichtert wird, und die Weite der Röhre nicht unter 1,5 Linien sein darf, weil sonst die Beweglichkeit des Quecksilbers zu geringe, gelten auch wohl noch jetzt im Allgemeinen. Es ist auch wohl einzusehen, daß die Masse und somit das Gewicht des Quecksilbers unnöthig vermehrt wird, wenn man den Durchmesser der Röhre über 3 Linien weit annimmt, und daß die capillaren Erscheinungen hemmend auftreten, weil es gleichzeitig oft schwer ist bei weiteren Röhren eine Gleichförmigkeit des innern Glascylinders zu erzielen. — Was nun die Calibrirung betrifft, so haben wir im Allgemeinen auf jene Methoden zu verweisen, die bereits bei der Calibrirung der Thermometerröhren besprochen und von denen die einfachste jedenfalls jene ist, bei der ein Quecksilbercylinder von gleicher Größe durch die ganze Länge der Röhre verfolgt werden kann. Daß man eine Röhre von möglichst gleich dickem Glase zu wählen hat, ist selbstverständlich, da sonst bei dem Processe des Auskochens leicht ein Zerspringen an den ungleichmäßigen Stellen stattfinden kann. Aus diesem Grunde ist es auch nicht rathsam, nachdem man das obere Ende der Röhre gewölbt zugeschmolzen, diese etwa 0,5 Zoll von der Wölbung bis auf $\frac{1}{4}$ Linie zusammenzublasen, (ein Verfahren, durch

welches das Quecksilber abgehalten werden soll an die Wölbung des Glases zu schlagen und dieses zu zertrümmern,) durch die ungleiche Ausdehnung entsteht zu leicht ein Zerplatzen der Röhre bei ihrem Auskochen. Für die Befreiung der innern Wände von Staub und Wasserdampf muß vor der Füllung mit Quecksilber gesorgt werden. —

Das Auskochen der Barometerröhre.

1) Man vergleiche: Faraday: Ueber die Aufbewahrung von trockenen Gasarten über Quecksilber, Pogg. Ann. 8, p. 124. Dieser Aufsatz ist durch die Behauptungen Daniell's in Journ. of. Science Nr. 39 hervorgerufen, in welchem D. im Namen, jedoch ohne Wissen Faraday's, gestützt auf Bellani, gegen Humphry Davy's richtige Ansicht auftritt.
2) **Mémoire de l'Académie 1823.**
3) **Mémoire de l'Acad. 1740.**
4) **Philosophicals Transactions Nr. 448.**
5) **Journal de Physique 73, p. 146.**
6) Poggendorff: Annalen 4, p. 331.
7) Treviranus: Ueber einen zum Auskochen der Barometerröhren dienenden Apparat. Dingler's polytechn. Journ. Bd. 133, p. 188.
8) Brunner, in Pogg. Ann. 94, p. 523, ferner Mittheilungen der Berner naturforschenden Gesellschaft 1853.
9) Man vergleiche hier die Arbeiten Regnault's in seinen hygrometrischen Studien in **Ann. chim. physique** (*) 15, 190. Ferner die von Andrew's in Pogg. Ann. 88, p. 309 und vollständiger in Phil. Magazin (4) III, p. 104; ferner die Arbeit von Fontaine ausführlich in **Compt. rend. 34, p. 408** und Dingler polyt. Journ. 124, p. 235.
10) **J. Welsh: Account of the construction of a standard barometer and description of the apparates etc. in Philosophicals Transactions 1856, p. 507** im Auszuge **Fortschritte der Physik von Krönig 1856.**
11) **Taupenot, in Annales de Chimie et de Physique** Januar 1857, p. 91; Pogg. Ann. 100, p. 475 und Dingler polyt. Journal. Bd. 143, p. 182.
12) Vergleiche Pogg. Ann. 74, p. 462.

Das Auskochen der Barometer ist ohne Zweifel von der größten Wichtigkeit bei der Anfertigung dersel-

ben, da die atmosphärische Luft, die Feuchtigkeitstheilchen derselben und die des Quecksilbers beseitigt werden sollen. Wie stark die Lufttheilchen adhäriren und, wenn sie beseitigt, wieder durch das Quecksilber in das Vacuum zu dringen streben, haben verschiedene Untersuchungen ([1]) längst gezeigt. Wir übergehen hier die ältern, theils auf ganz unrichtigen Principien basirenden Methoden des Auskochens von du Fay ([2]), Cassini und Lemoinier ([3]), Beighton ([4]) und d'Angos ([5]), führen für diejenigen, welche sich mit den eigenthümlichen Ansichten jener Zeit über die vorkommenden Capillar- und Adhäsions-Erscheinungen bekannt machen wollen, Wolf's: „Nützliche Versuche" Bd. II., und Lutz: „Von den Barometern" §. 115 an und bemerken, daß Biot im Traité de physique wohl der erste war, der, — wenn auch nicht ganz selbständig, sondern gestützt auf andere Autoritäten der Wissenschaft, von denen der eine diese, der andere jene Wahrheit fand, — von wissenschaftlichen Principien ausgehend eine wohl abgerundete Darstellung der richtigen Thatsachen und eine genaue Construction lieferte. — Deshalb übergeben wir auch die Methode des Auskochens von Romershausen ([6]), da sie für uns kein besonderes Interesse darbietet, und wenden uns zu den neuern und neuesten Methoden.

§. 4.

Auskochungsmethode von Treviranus.

Wir führen hier zunächst eine Methode von L. Georg Treviranus ([7]) an, die in der That zweckdienlich ist und manchen Vorzug vor den früher angewendeten hat. — Wir verweisen gleichzeitig noch auf eine Abhandlung des Treviranus im Bd. 126, p. 90 von Dinglers polytechn. Journal, in welchem von einer Vereinfachung der Construction und des Gebrauches der stationären Barometer gesprochen wird. Da sich häufig die bis

dahin ziemlich allgemein angewendeten Kohlenfeuer zur Erhitzung nicht immer bewährt hatten, so kam T. nun auf die Idee, eine Weingeistlampe mit doppeltem Luftzug zu benutzen, und zwar so, daß das Glasrohr nach und nach in dem Innern des Rohres der Lampe sich in senkrechter Richtung herabsenkt, während die Hitze des brennenden Weingeistes durch einen über dem Gefäße der Lampe befindlichen Schirm concentrirt, gleichförmig und ohne daß das Rohr mit den Händen berührt wird, immer nur auf einen kleinen Theil von dessen Höhe und Umfang wirkt.

Schon der erste Versuch, welchen er mit dem obgleich noch unvollkommenen Apparat anstellte, fiel zu Gunsten der neuen Auskochungsmethode aus. Schläge im Rohr, welche entstehen, wenn es zu viele Feuchtigkeit vermischt mit Luft im Innern enthält, gab es gar nicht, wohl aber wurde ein ziemliches Schwanken der Quecksilbersäule, auf und nieder, bemerkt. Solche Oscillationen entstehen zwar zum Theil aus dem Entweichen der Luft und des Wasserdampfes, und sie lassen sich wohl nicht ganz beseitigen, aber der Hauptgrund liegt, wie er beobachtete, in dem Umstande: daß, wenn man den Auskochproceß übereilt (nämlich schon einen höhern Punkt des Rohres dem Brennpunkt der Lampe aussetzt, ehe der niedrige Theil, vergleichsweise wie beim Silber, geblickt hat, so daß man genöthigt ist das Rohr am Seil und der Rolle wieder zu heben), dann die Masse des kochenden Quecksilbers zu groß wird, und die Dämpfe nicht mehr mit der Leichtigkeit als beim regelmäßigen Verlauf des Processes entweichen können.

Es geht in diesem Falle, wo immer nur beiläufig ein ¾ Zoll der Quecksilberhöhe sich im Kochen befindet, dasselbe so ruhig vor sich, daß man das Rohr bis auf beiläufig 1½ Zoll unter dem offenen Ende mit Quecksilber füllen, nebst dem das Ende mit einem Korkstöpsel, ohne daß er herausfliegt, schließen darf. Auch schienen Quecksilberdämpfe nicht eher ins Freie zu treten, als bis das Auskochen nahe beendiget, nämlich zum offenen

16*

Ende des Rohres vorgeschritten ist. Die Quecksilberdämpfe, welche sich früher entwickeln, schlagen sich in den höhern kältern Theilen des Rohres wieder nieder.

Bei dem letzten Rohre von $3\frac{1}{2}'''$ Weite, welches er auskochte, betrugen die Oscillationen der Säule, soviel er während einzelner Blicke bemerken konnte, nur etwa $\frac{1}{2}''$; denn nur ganz kurze Zeiträume darf man das Auge von dem Punkt, wo es kocht, wegwenden. Kocht man zu wenig, dann ist es, wie gesagt, nicht recht; kocht man zu viel, dann giebt es braune Flecken im Rohr. Ist aber alles ganz regelrecht von statten gegangen, dann zeigt sich weiterhin beim Umwenden des Rohres die übrigens schon von Anderen beobachtete sonderbare Erscheinung, daß sich die Säule in der Spitze des Rohres aufhängt, d. h. ohne daß man vorher am Rohr etwas rüttelt und klopft, gar nicht herunter auf den dem Druck der Luft entsprechenden Höhenstand sinken will. Das Auskochen erfordert nur eine Zeit von etwa 10 Minuten.

Bei zwei in der Weite wenig verschiedenen Röhren, welche beide mit gleich gut gereinigtem Quecksilber gefüllt und dann ausgekocht wurden, war (nachdem sie lange genug gestanden hatten, um gleiche Temperatur anzunehmen) mit Berücksichtigung der Capillar-Depression gar kein Unterschied in der Quecksilberhöhe, über dem Spiegel des Gefäßes gemessen, bemerkbar; wogegen sich bei unausgekochten, aber anscheinend gut gefüllten Röhren, im Vergleich mit ersteren, ein Minus von 1 bis 6''' ergab, woraus T. folgert: daß man bei Anfertigung der sogenannten Normalbarometer das Auskochen des Quecksilbers im Rohre selbst nicht entbehren kann.

Um nur eine Linie stellte sich das Quecksilber niedriger bei einem Rohr von (+ —) $2\frac{1}{2}'''$ Weite, welches er vor der Füllung mit Baumwolle, möglichst rein ausgeputzt, dann in kochendem Wasser erwärmt hatte, worauf er das Quecksilber bis auf 120° R. erhitzte und, nachdem es auf etwa 80° wieder abgekühlt war, es

ins Rohr füllte, endlich die kleinen Blasen, welche sich noch zeigten, mit einer größeren Luftblase sich vereinigen ließ und aus dem Rohre entfernte. Das Verfahren hiebei besteht darin, daß man das Rohr bis auf etwa ¼ oder ⅜" unter dem Korkstöpsel (womit man das offene Ende schließt) mit Quecksilber füllt; dann durch eine etwas über die Horizontale erhöhte Lage des Kopfes bewirkt, daß sich die Blase zum Kopfe hinauf, und endlich (indem man das Rohr senkrecht auf den Kopf stellt) wieder nach dem verstöpselten Ende begiebt, auf ihrem Wege dahin die kleinen Blasen mitnehmend. Diese Manipulation muß so oft wiederholt werden, bis das Quecksilber und die Luftbläschen keine Neigung mehr zeigen sich im Stamme des Rohres festzusetzen, dasselbe also durch die Luftblase noch besser als die Baumwolle es vermochte, gesäubert ist.

Dasselbe Verfahren wendete er auch bei den zum Auskochen bestimmten Röhren an, und diese Vorbereitung mag wohl mit Ursache sein, daß bei ihm das Auskochen selbst so leicht von statten ging.

Ist aber das Rohr nur etwa 1½''' und darunter weit, dann kann man nach seinen Beobachtungen die Luftblase gar nicht zum Laufen bringen, sondern muß suchen durch Schütteln und Stoßen das Quecksilber zu vereinigen; daher nicht zu bezweifeln ist, daß ein solches Rohr weit mehr Luft und Feuchtigkeit birgt als ein weiteres, bei welchem das Putzen und die laufende Blase noch anwendbar ist. Das Rohr, bei welchem sich das Quecksilber um 6''' zu niedrig stellte, hatte wirklich nur 1½''' Linien Weite, was hinreichend erklärt, daß es sich so schlecht bewährte.

Was endlich die specielle Einrichtung des Auskochapparates für das Quecksilber der Barometerröhre anbelangt, so dürfte sie mit Hülfe der Abbildungen aus dem, was anfänglich bereits darüber bemerkt, und jetzt noch hinzugefügt wird, ganz verständlich werden.

Taf. IX., Fig. 1 ist der Aufriß des Apparates von vorne, in welchem übrigens die vordere Spitze für das

Tischblatt fehlt und dieses unterhalb der Lampe durchbrochen ist.

Taf. IX, Fig. 2 ist ein vollständiger Aufriß von der Seite.

Taf. IX, Fig. 3 zeigt in Verticaldurchschnitt das Rohr eines Flaschen-Barometers und wie beim Auskochen ein Verlust an Quecksilber zu verhindern ist, nebst dem, wie der erhitzten Luft und den Dämpfen ein Ausweg ins Freie verschafft wird, und wie die Leitung für das Rohr einzurichten ist, damit die Flasche durchpassiren kann, wenn die Leitung nicht mehr nöthig ist. Taf. IX, Fig. 4 zeigt einen Eisendraht, an dessen Obertheil ein aus dünnem Kupferblech bestehendes durchbrochenes Körbchen befestigt ist, in welchem der Kopf des Barometerrohres während des Auskochens ruht; Taf. IX, Fig. 5 zeigt den Grundriß des Bleches vor dem Biegen. Dieselben Theile sind in den Figuren mit gleichen Buchstaben bezeichnet. Zwischen Fig. 1 und 2 befinden sich die einzelnen zwischen und an den Säulen angebrachten Theile von oben angesehen.

In Taf. IX, Fig. 1 ist B der Kopf einer Schwelle, die mit einer zweiten A, A in der Mitte im rechten Winkel zusammengeplattet ist, und welche zusammen die vier Füße des Apparates bilden. In A, A sind zwei viereckige Säulen C, C und C', C' eingezapft, durch Keile darin befestigt und oben nochmals durch das Joch D, D zusammen verbunden. An jede der beiden Säulen ist das Blatt G, G, worauf die Lampe ruht, seitwärts durch eine Holzschraube befestigt; zu weiterer Befestigung des Blattes dienen oben die Knaggen d, d und unten die Stützen E und E'. Zwischen dem Fuß des Gestelles und dem Blatte befindet sich der Schieber F, F; in dessen Mitte der Eisendraht a, b mit dem Körbchen oder der Spur b für das Glasrohr; außerhalb der Säulen die Gehänge F, g von Eisendraht zur Befestigung der Seile g, l daran. Wegen der Erhöhung des Punktes b über F ist eine directe Befestigung der Seile an dem Schieber nicht anwendbar, weil dadurch dessen leichte Bewe-

gung zwischen den Säulen mehr oder weniger gehindert würde.

Die beiden Schnüre gehen von g aus über die Rollen l, l; sie sind hinter dem Gestell an den Enden des Querbolzes H, H und eine dritte Schnur ist in dessen Mitte befestigt. Diese dritte Schnur K L, Figur 2, welche durch ein Loch des Tischblattes passirt, dient um den Schieber F, F sammt dem Barometerrohr nach Erforderniß hinauf oder herunter bewegen, ihn auch auf einer gewissen Höhe feststellen zu können. Zu diesem Ende wird die Spur zwischen den Einschnitt des Holzes L eingeklemmt und herumgeschlungen.

Im Anfange der Auskochung eines Barometerrohrs, wo der Schieber F, F nur etwa 1½ Zoll unter dem Tischblatt steht, und bis das Quecksilber beiläufig auf die Hälfte seiner Länge ausgekocht ist, bedarf das Rohr aber einer Leitung die es in der Mitte des Brettes H H in dem viereckigen Loche m des Grundrisses findet. Das Brett hat zwei Federn r, r, um es an den Säulen auf dem erforderlichen Höhenpunkt leicht stellen und festhalten zu können. Drei Seiten des viereckigen Loches m werden durch das Holz von H und die vierte Seite wird durch die innere Kante des kleinen Schiebers n gebildet. Zieht man letztern mittelst des Stiftes p gehörig, dann kann beim Auskochen eines Flaschenbarometers (weil m vorne erweitert ist) die Flasche ungehindert das Brett passiren. Dasselbe gilt auch von dem Rohr eines Heber-Barometers. Nachdem das Rohr aus m getreten ist, findet es hinreichende Leitung und Stütze im Obertheil der Lampe.

Die Lampe besteht aus einer aus Kupferblech getriebenen Schale e e, Taf. IX, Fig. 1, von 3″ Weite und 1″ Tiefe, in deren Mitte sich ein Rohr von ¾″ Weite befindet, das nach oben bis i i reicht und unten mit dem Fuß der Lampe eben ist. Dieses Rohr paßt in eine Büchse, welche in dem Tischblatt festsitzt und etwa ¼″ vorspringt.

Zur Concentrirung der Hitze des in dem Gefäße brennenden Weingeistes ist der umgekehrte Trichter c, u, u, c

etwa $\frac{1}{2}$" über dem Gefäße und mit drei Füßen auf dessen Rand ruhend angebracht; oben endigt es sich in einen Cylinder von $\frac{1}{2}$" Höhe und 1" Weite. Nur innerhalb dieses Cylinders und $\frac{5}{8}$ bis $\frac{3}{4}$" darüber findet das Kochen des Quecksilbers im Glasrohre statt.

Einestheils zur Ablenkung der Flamme von den höhern Theilen des Glasrohrs, anderntheils um dieses nicht ohne Leitung zu lassen, nachdem es diejenige in dem Holze verlassen hat (zugleich auch um es möglichst central in der Flamme zu erhalten), befindet sich über dem umgekehrten Trichter ein zweiter v, v in gewöhnlicher Lage mit nach unten gestülptem Rand.

Die Trichter sind durch zwei Blechstreifen von $\frac{3}{8}$" Breite und Nieten mit einander verbunden. In den oberen wird ein Ring von Kupfer- oder Messingblech gelegt, mit so weiter Oeffnung im Centrum, daß das Glasrohr noch den nöthigen Spielraum behält.

Ist ein gerades Rohr bis zum höchsten Punkt seiner Füllung mit Quecksilber ausgekocht, dann hat es keine Schwierigkeit, die Lampe an dem hölzernen Handgriff abzunehmen; hat man aber das Rohr eines Flaschen- oder Heber-Barometers ausgekocht, dann muß es vorher mittelst einer am gebogenen Theil befestigten, durch das Auge x am Joch D D laufenden Schnur in die Höhe gezogen werden.

Man kann wohl ohne Gefahr für das Glasrohr den Aufsatz v v weglassen, wenn dafür dem Rohr in cylindrischen Theil u u des umgekehrten Trichters eine Leitung, bestehend aus drei oder vier Stiften von Platindraht, gegeben wird. Der Vortheil bestände darin, daß sich in der senkrechten Richtung weitere $2\frac{1}{2}$ bis 3" der Quecksilberhöhe auskochen ließen, als die jetzige Einrichtung der Lampe für gebogene Röhren gestattet.

Wer indessen auch bei diesen das Auskochen bis zum äußersten Punkt treiben will, mag, wenn er in dem senkrechter Richtung nicht weiter kann, das Rohr aus der Lampe herausnehmen und den Rückstand des Quecksilbers, mit Hülfe derselben Weingeistlampe, wie ge-

wöhnlich in schräger Richtung des Rohres auskochen. Die Hauptarbeit hat dann auch in diesem Falle schon der Apparat verrichtet.

Bezüglich Taf. IX, Fig. 3 ist noch zu bemerken, daß das Röhrchen z von Schwarzblech angefertigt sein muß, weil Kupfer von heißem Quecksilber angegriffen wird.

§. 5.

Methode von Brunner.

Auch C. Brunner (8) hat eine Methode angegeben, einen luftleeren Raum durch Anwendung von Kohlensäure zu erzeugen (9). Unter eine Glocke mit aufgeschliffenem Rande wird Schwefelsäure und außerdem auf einer mit Fließpapier belegten Schale eine gewisse Quantität trockenen Aetzkalkes gebracht und dann Kohlensäure zugeleitet, bis dieselbe alle atmosphärische Luft durch eine zweite Oeffnung verdrängt hat. An letzterer ist schon zuvor ein Barometerrohr angebracht, welches nun mit seinem unteren Ende unter Quecksilber getaucht wird. Zugleich wird die Zuleitung der Kohlensäure unterbrochen, dagegen aus einem schon vorher mit der Glocke in Verbindung gesetzten, oben zur Kugel erweiterten Glasrohre durch Erhitzen mit der Weingeistlampe Wasser über den in der Schale enthaltenen Aetzkalk gegossen, welches durch die Wirkung des Fließpapiers sich noch gleichmäßiger verbreitet. Mit der Befeuchtung tritt rasch auch die Absorption der Kohlensäure ein. Die Quecksilbersäule im Barometerrohr erhebt sich in wenigen Minuten bis nahe zum äußeren Barometerstand, und auch die etwa 12 Millim. Unterschied, welche noch vom Wasserdampfe herrühren, verschwinden innerhalb etwa zwei Stunden zum größten Theil. Brunner ist es häufig gelungen, die Tension unter der Glocke bis auf 1 Millimeter Quecksilberdruck zu vermindern. Auf die Beschreibung der verschiedenen von ihm abgeänderten Ap-

parate und die Aufzählung der empfohlenen Vorsichtsmaßregeln gehen wir hier nicht ein.

Wir machen ferner hier auf ein praktisches Verfahren aufmerksam, das in der Neuzeit auf dem Kew-Observatorium angewendet worden ist und sich auch durch Versuche, die nach diesem Verfahren angestellt worden sind, bewährt hat. Man kann bei dieser Methode in der That die Genauigkeit bewundern, mit der der Experimentator Herr Welsh ([10]) zu Werke gegangen ist, um alle Schwierigkeiten, die sich in so hohem Grade der Operation entgegenstellten, zu beseitigen.

§. 6.

Methode von Welsh.

Unter der Leitung des Herrn Welsh sind alle Barometerröhren auf der Glashütte selbst angefertigt, das Eindringen von Wasserdämpfen in die Glasröhre während des Blasens derselben möglichst vermieden, und unmittelbar nach der Anfertigung wurde jede Röhre an beiden Enden zugeblasen und so luftdicht verschlossen. Die zur Anfertigung eines Standardbarometers für das Kew-Observatorium construirte Röhre hatte die in Taf. VIII, Fig. 3 angezeigte Form, wobei das untere Ende derselben aus einer von einer Kugel G ausgehenden, 6″ langen Capillarröhre bei GH besteht, das obere Ende bei A mit einer eben solchen Röhre in der angezeigten Weise versehen ist, bei E in eine kleine Kugel und bei F in eine Capillaröffnung ausgeht, die am Anfange verschlossen bleibt. Die heberförmig gebogene Röhre B C G war 6″ lang, und hatte einen Durchmesser von 0,3 Zoll, während die Kugel bei G $\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmesser hatte. Vor der Benutzung wurde die Röhre mit Weingeist gereinigt, um die dem Auskochen so nachtheiligen Wasserdämpfe zu entfernen (vielleicht dürfte hierzu die Anwendung von Schwefeläther noch zweckmäßiger sein); das Quecksilber wurde unter Anwendung von verdünnter Salpetersäure und dem hierauf er-

folgten Auswaschen mit einer Schwefelsäure und dann mit Wasser 2c. chemisch rein gemacht. Zur Anfertigung des Barometers wurde das Ende H der Röhre mit einer guten Luftpumpe verbunden und bei anhaltendem Erhitzen derselben die Luft in der Röhre so weit als möglich verdünnt. Während des Auspumpens wurde nun, als der ausreichende Verdünnungsgrad erreicht worden war, die Capillarröhre bei Y mittelst der Stichflamme geschmolzen, darauf mit ihrem Ende bei F in das hierzu geeignet vorbereitete Quecksilber versetzt, und bei F dieselbe geöffnet. Die Röhre füllte sich mit Quecksilber an, und es wurde auf diese Weise der verlangte Zweck erreicht. Nach dem Herausheben des Barometers aus dem Quecksilber wurde bei F die Röhre mittelst der Stichflamme geschlossen, und das Instrument, nachdem von dem heberförmigen engeren Ende ein Stück der Röhre abgeschnitten worden war, in gehöriger Weise, indem das Ende bei B in das hierzu vorbereitete Barometergefäß aus Glas gebracht wurde, aufgestellt, und für den Gebrauch eingerichtet. Die Aufhängungsweise selbst, die von Welsh umfassend geschrieben wird, ist aus Taf. VIII, Fig. 4 zu entnehmen, in der M N eine feste Wand, wo der alte Mauerquadrant des Observatoriums von Kew angebracht war, bedeutet. Dieses im Juli 1855 angefertigte Barometer hat einen innern Durchmesser von 1,1 Zoll (engl.), und die Länge der Röhre über dem mittleren Barometerrand beträgt noch 9 Zoll. Dieses Barometer hat sich bis jetzt fehlerfrei gezeigt; der Gipfel der Quecksilbersäule hat eine gute Convexität; die bei den früheren in diesem Maßstabe (1" innerem Durchmesser der Röhre) angefertigten Barometer bei Schwankungen der Säule aufgetretenen Verunreinigungen des Glases und angesetzten Ringe kamen in sehr geringem Grade nunmehr zum Vorschein, und es waren an der ganzen Länge der Säule, ausgenommen an dem unteren Ende, wo die Röhre in dem Quecksilbergefäße sich befindet, keine Luftblasen, und auch hier nur wenige bemerkbar. Zur Ablesung der Höhe der

Quecksilbersäule von diesem Standardbarometer wird ein an derselben Wand angebrachtes und in einer Entfernung von 5 Fuß vom Barometer befindliches Kathetometer benutzt; die Einstellung des Nullpunktes geschieht dabei auf die in das Barometergefäß reichende conische Stahlspitze, deren Lage von außen regulirt werden kann.

Wir lassen noch eine Methode von Taupenot (11) folgen, durch welche das Auskochen des Quecksilbers in den Barometerröhren mit Hülfe des luftverdünnten Raumes stattfindet. Taupenot zählt die Uebelstände der Methode des Auskochens auf und hebt die Vorzüge seiner Methode hervor. Wir lassen seine Bemerkungen folgen.

§. 7.

Methode von Taupenot.

Um ein Barometer wohl von Luft zu befreien, muß man das Quecksilber einige Minuten im Sieden halten, successiv an verschiedenen Punkten der Röhre und wo möglich ihrer ganzen Länge nach. Bei der gewöhnlichen, noch gegenwärtig in allen Lehrbüchern der Physik beschriebenen Methode, empfiehlt man mit Recht, die Operation in drei Theile zu zerfällen. Man kocht ein erstes Drittel aus, dann ein zweites, und füllt nun mit siedendem Quecksilber. Die Operation ist langwierig und hat den Uebelstand, daß man das letzte Drittel nicht wie die beiden ersten auskochen kann. Die am Glase haftende Luft kann sich zu Blasen vereinigen, die nach einiger Zeit, in Folge der Erschütterungen des Instruments, bis zur Kammer desselben aufsteigen.

Ueberdieß erfordert das Auskochen des ersten und zweiten Drittels einige Vorsicht, sobald das Glas etwas dick und der innere Durchmesser desselben etwas klein ist. Die hohe Temperatur, in die man das Glas versetzen muß, und die starken Stöße der Quecksilbersäule, welche über mehr oder weniger heiße Stellen der Röhre hinweggehen, bewirken oft ein Springen desselben.

Besonders die Eprouvetten der Luftpumpen bieten in dieser Beziehung große Schwierigkeiten dar. Diese Uebelstände aber verschwinden oder verringern sich sehr, wenn man über dem Quecksilber während des Siedens ein Vacuum herstellt, dann hat man nicht mehr nöthig, die Operation in drei Theile zu zerfällen. Man kann die Röhre mit einem Male ganz füllen und, wenn man will, bis zur Mündung auskochen, was gut ist und die Operation wenig verlängert. Man nimmt eine Röhre, die 10 bis 15 Centimeter länger als gewöhnlich ist, façonnirt sie vor der Lampe, wenn es nöthig ist, wenn sie z. B. zu einem Fortin'schen Gefäßbarometer bestimmt ist, und giebt ihr an dem überschüssigen Theil CD, der später abgeschnitten wird, ein Paar Verengerungen A B (Fig. 5 und 6, Taf. VIII). Diese Vorkehrung, die übrigens nicht unumgänglich nöthig ist, hat den Zweck, die Oscillationen des Quecksilbers zu mäßigen, wenn man zum Auskochen der oberen Theile gelangt.

Bevor man die Röhre bis zur ersten Verengerung B füllt, d. h. bis etwas über den Ort D, wo sie abgeschnitten werden muß, befestigt man an C das offene Ende einer Kautschuckröhre, die mit der Luftpumpe in Verbindung steht. Die mit Quecksilber gefüllte Röhre legt man wie gewöhnlich auf einen geneigten Rost, evacuirt hierauf und erhitzt den untern Theil der Röhre. Das Sieden läßt sich sehr rasch, fast ohne Schwanken und Aufstoßen bewerkstelligen, nach und nach mit immer größerer Leichtigkeit, so daß die Operation innerhalb 25 Minuten beendet ist.

Dieses Verfahren hat auch das Gute, daß das Quecksilber weniger dem Oxydiren ausgesetzt ist.

Es ist gut, zu bedenken, daß, falls die Röhre spränge, alles oberhalb des Sprunges befindliche Quecksilber in den Pumpenkörper getrieben werden würde. Obgleich die Möglichkeit eines solchen Unfalls hier viel geringer ist als bei der gewöhnlichen Methode, weil die Temperatur nicht so hoch zu sein braucht und das Auf-

stoßen kaum merklich ist, so ist es doch gut, eine sehr einfache Vorsichtsmaßregel zu treffen, darin bestehend, daß man in der Mitte der Kautschuckröhren ein aufrechtes cylindrisches Glas E F anbringt (siehe Fig. 5, Taf. VIII). Das fortgetriebene Quecksilber würde in diesem Glascylinder E F gelangen und die Luft durchlassen, wie das in den gewöhnlichen Sicherheitsröhren geschieht.

Siedepunkt des Quecksilbers in verdünnter Luft.

Diese Temperatur wurde mit Hülfe des folgenden Apparates bestimmt. Eine Glasröhre A B (Figur 6, Taf. VIII) von solcher Weite, daß sie zwei Thermometer in umgekehrter Stellung enthalten konnte, wurde am offenen Ende A so weit ausgezogen, daß sie ein Kautschuckrohr aufzunehmen vermochte, welches zu einer Luftpumpe führte. Man goß etwas Quecksilber hinein, ließ es sieden und erhielt es darin so lange, bis die Thermometer stationär geworden waren, dabei werden am ersteren Thermometer die Correction gemacht. Das Sieden des Quecksilbers erfolgte unter einem Druck von 8 bis 10 Millimeter ungefähr 90° (C.) niedriger als an freier Luft. Dieses Resultat stimmt ziemlich überein mit dem vom Dalton'schen Gesetz im Voraus angezeigten, obwohl dieses Gesetz nicht richtig ist, wenn man sich von den Siedpunkten an freier Luft sehr entfernt.

Nach der Leichtigkeit des Siedens und der Dampfentwickelung zu urtheilen, würde man die Siedetemperatur für geringer halten, als sie nach obigem Versuche ist. Allein dieser Versuch ist mit so viel Sorgfalt angestellt, daß er Vertrauen verdient. Wegen seiner Einfachheit ist er übrigens leicht zu wiederholen und er eignet sich selbst in Vorlesungen gemacht zu werden, als Beispiel vom Einfluß des Drucks auf die Temperatur des Siedens von Flüssigkeiten.

Es tritt nun noch ein wichtiges Moment bei der Anfertigung der Barometerröhren und bei ihrer Füllung hinzu, nämlich die Erhaltung des luftleeren Raumes herbeizuführen, ein Umstand, der nicht leicht zu erlangen und auf den wir schon früher (siehe Auskochen der Barometerröhre, Anmerkung 1) uns aufmerksam zu machen erlaubten. Daß immer wieder und wieder diesem Gegenstande Aufmerksamkeit geschenkt wurde, zeigen mannichfache Abhandlungen, die darüber geschrieben, wie z. B. d'Hombre-Firmas in Echo du monde savant 1841, Nr. 639 (im kurzen Auszuge in Dingler's polyt. Journal Bd. 81, p. 158), allein niemals hat man Mittel empfohlen, diesem Uebelstande zu wehren. Deshalb müssen wir es Prof. Reich in Freiberg danken, auf das Verfahren von Lefranc aufmerksam gemacht zu haben. Da es von großer Wichtigkeit, verweisen wir alle, die es näher angeht, auf die später citirte Quelle und theilen nur hier das von Poggendorff ([12]) Gesagte mit.

§. 8.

Lefranc's Methode, das Barometer luftleer zu erhalten.

Jeder, der sich mit genauen Barometermessungen beschäftigt hat, kennt die Schwierigkeit, das Barometer längere Zeit vollkommen luftleer zu erhalten. Deshalb wurde auch die Einrichtung von Bunten (§. 26) mit großem Beifalle aufgenommen. Es ist aber auch bekannt, daß das Bunten'sche Barometer nur von sehr geschickten Glasbläsern angefertigt werden kann, und sehr leicht dem Zerbrechen ausgesetzt ist, weshalb auch seine Anwendung sich sehr wenig verbreitet hat.

In den Annales des ponts et chaussées 1846, 2me semestre p. 316 beschreibt Herr Lefranc ein Barometer, welches die Vorzüge des Bunten'schen besitzt, aber ganz frei von dessen Nachtheilen ist, denn es kann von

Jedem, der nur einigermaßen Glasröhren zu biegen und auszuziehen versteht, leicht angefertigt werden, und ist dem Zerbrechen sehr wenig ausgesetzt. Deshalb dürfte eine kurze Angabe der wesentlichsten Verbesserung, die es darbietet, hier nicht am unrechten Orte sein.

Die Fig. 7, Taf. VIII zeigt einen Durchschnitt des unteren Theiles des Heberbarometers. Die Röhre a ist wie gewöhnlich heberförmig gebogen, und der kurze Schenkel b endigt nahe über dem Buge in eine conische, höchstens noch 1 Millimeter Oeffnung darbietende Spitze. Darüber wird ein guter, etwas conischer Kork so gestellt, daß die Spitze 8 bis 10 Millimeter über denselben hinausragt. Auf diesem Kork steckt eine Glasröhre c, von der Weite und Beschaffenheit des langen Schenkels, welche unten etwas conisch erweitert, mit einem verdickten Rande versehen, und etwas darüber zu einer Verengerung e ausgezogen ist.

Nachdem man die Hauptröhre gefüllt und gut ausgekocht hat, so daß sie fast bis zur feinen Oeffnung des kurzen Schenkels voll Quecksilber ist, — was keine Schwierigkeit in der Ausführung darbietet, — steckt man den Kork auf und auf diesen die Röhre c, umwickelt den Kork und die darunter und darüber befindlichen Röhrentheile mit einem Streifen mit Leimwasser bestrichener Blase, umbindet diese mit einem Faden und richtet das Instrument auf, worauf sich das Quecksilber in die Röhre c ergießt. Es wird so viel nachgegossen, daß bei Neigung des Instruments das Quecksilber bis e steht.

Herr Lefranc giebt noch ausführlich die Art des Verschlusses, die übrige Construction und die Art des Aufhängens an, in Bezug worauf auf die Quelle verwiesen werden kann. Aber zu erwähnen ist, daß man wohl thut, den Kork d auf eine feste Unterlage aufzusetzen, damit man nicht Gefahr laufe, durch das Eindrücken des Stöpsels in e beim Verschluß die Röhre im unteren Knie abzubrechen.

Außer dem Hauptvorzuge, der Luft keinen Zutritt zur Toricelli'schen Leere zu gestatten, hat dieses Ba-

rometer auch noch den, bei schnellem Neigen nicht dem Zerschlagenwerden ausgesetzt zu sein, weil das Quecksilber durch die Oeffnung nur langsam nachtritt, und deshalb niemals ein sehr heftiges Anschlagen stattfindet.

§. 9.

Die Capillardepression des Quecksilbers.

Die größte Schwierigkeit bei dem Stande des Quecksilbers in der Barometerröhre wird bei der Beobachtung der Höhe einer Quecksilbersäule durch die Capillarität bereitet. Sie ist es, die auf der Oberfläche der Säule in Röhren keine horizontale, sondern eine convexe Fläche bilden läßt. Das Hauptgesetz über die Capillarität liefert folgender Satz: Die Capillardepression δ ist gleich einer constanten Größe H, die von der Natur des Quecksilbers abhängt, dividirt durch den Krümmungshalbmesser R der Oberfläche an ihrem höchsten Punkte, also

$$\delta = \frac{H}{R.}$$

Man hat den Werth von δ auf verschiedene Weise zu bestimmen versucht und Cavendish war einer der ersten, der Tafeln über die Depression bei verschieden weiten Röhren berechnete. Es ist nach ihm, wenn 1,1″ englisch = 1,165″ preußisch = 1,126″ französisch, die Depression bei

0,1″ = 0,14
0,2 = 0,067
0,3 = 0,036
0,4 = 0,015
0,5 = 0,007
0,6 = 0,006 u. s. w.

Um nun practisch weiter fortzugehen, wird es sich zunächst darum handeln, den Krümmungshalbmesser zu

bestimmen. Wir nehmen ein Heberbarometer, bei welchem beide Kuppen verschieden sind, die eine mit dem Vacuum, die andere mit der Luft in Berührung ist und diese auch durch die Oxydation ihre Form verändert hat, so werden wir zwei Krümmungshalbmesser zu bestimmen haben, da für den kürzern Schenkel die Gleichung gilt:

$$\delta' = \frac{H}{r}.$$

Man muß sich hier eines einfachen Meßapparates bedienen, nämlich eines Mikroskopes, in welchem mehrere verticale Fäden und ein horizontaler Faden ausgespannt sind. Man läßt nun den horizontalen Faden die Oberfläche (die sehr nahe eine oscillatorische Kugeloberfläche ist) berühren als n n' (Taf. IX, Fig. 6) und mißt genau $np = y$ und $mn = x$, ebenso $n'\ p'$ und $m'\ n'$. — Dann ergiebt sich:

$$(R - x)^2 + y^2 = R^2$$

woraus

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2\,x}.$$

Da man nun np und mn genau gemessen, ergiebt sich R um so genauer, je mehr ähnliche Abschnitte man gefunden und ein Mittel daraus genommen hat. — Ebenso wird auch r bestimmt, und es ergiebt sich durch Subtraction beider Gleichungen

$$\delta - \delta' = H\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

und

$$H = \frac{(\delta - \delta')\,R\,r}{R - r}.$$

Da man nun auch $\delta - \delta'$ messen kann, so ergiebt sich ein genauer Werth für die Constante H. — Auf diese Weise wird nun auch der genaue Stand des Barometers ermittelt, indem man zu der Höhe bis zum

Füße der Kuppe H noch das gefundene Stück zu addiren hat, nämlich wahre Barometerhöhe

$$H' = H + \frac{H}{R}.$$

Wir führen hier noch, außer den bereits bei den Thermometerröhren citirten, folgende Bücher über Capillarität an:

Romershausen: in Pogg. Ann. 4. p. 352. Vergl. Bouvard in Annal. chim. phys. 22 p. 351 und Delcrosse in Biblioth. univers. 8, p. 10.

Bohnenberger: in Pogg. Ann. 7, p. 381. Vergl. Poisson: la Théorie de l'action capillaire et le suplement.

Bessel: Astronomische Nachrichten, Nr. 175.

Bravais: in Annales Chim. et phys. Ser. III. T. 492 im Auszuge Pogg. Ann 57, p. 519. Vergleiche dabei Laplace, in Mécanique Céleste, T. 4. 2. Supplement p. 65. Ferner Bouvard in Mém. de l'Acad. des Sciences T. 7, p. 322. Comparaisons barométriques faites dans le nord de l'Europe par M. M. Bravais et Martins in Mém. de l'Acad. de Bruxelles, T. 14 et T. 8, p. 11.

Pohl und Schabus: in Wiener Acad. Berichte 9, p. 834.

Dessains: Recherches sur les phénomènes capillaires in Ann. Chim. phys. Ser. 3, T. 51, p. 385.

Quinke: Ueber die Capillaritätsconstanten des Quecksilbers in Pogg. Ann Bd. 105.

§. 10.

Bemerkungen über das Vacuum.

Hat man nach den angegebenen Regeln, mit der nothwendigen Vorsicht die mit Quecksilber gefüllte Barometerröhre ausgekocht, so wird allerdings ein Vacuum vorhanden sein, und man kann sich davon überzeugen, wenn die Röhre horizontal gelegt wird, daß dann das Quecksilber sie ganz ausfüllt. Indeß die Luft wird doch allmählig eindringen, und es wird sich alsdann ein kleines Luftbläschen vorfinden, welches einen kleinen Gegendruck der atmosphärischen Luft entgegensetzen wird, so daß

dann eine Correction angewendet werden muß. — Ist der Raum vollständig luftleer, so wird der Druck der Atmosphäre p der Quecksilbersäule (m H d. h. Masse, multiplicirt mit der Höhe) gleich sein, also

$$p = m\,H$$

Hat aber das Luftbläschen die Spannung l, so wird

$$p = m\,H + l$$

sein.

Man muß nun dem Barometer die Vorrichtung geben, daß das Quecksilber in der Röhre in das Vacuum hineingedrückt werden kann, was leicht zu bewerkstelligen ist, dann wird sich H ändern in H' und auch die Spannung wird größer werden, d. h. l = l' werden. — Nun verhält sich aber nach Mariotte

$l : l' = v' : v$, d. h. die Spannungen umgekehrt wie die Volumina

woraus $l' = \frac{l\,v}{v'}$, und somit

$$p = m\,H' + \frac{l\,v}{v'}, \text{ also}$$

$$m\,H + l - m\,H' + \frac{l\,v}{v'} = o$$

$$m\,(H - H') + l\left(1 - \frac{v}{v'}\right) = o$$

woraus sich der Werth für l ergiebt, da die andern Größen an der Scala gemessen oder anderweitig bestimmt werden können. Dieser Werth ist von der Höhe der zu messenden Säule dann ein für allemal abzuziehen, vorausgesetzt, daß die Luftmenge im Vacuum nicht zunimmt. Es erscheint deshalb nothwendig von Zeit zu Zeit diese Operation zu wiederholen.

§. 11.

Die Barometerscalen.

In Betreff der Barometerscalen verweisen wir auf die bereits bei der Thermometrie von Wilh. Weber angeführten Thatsachen, und was die Messung der vorkommenden Menisken betrifft, auf die ebenfalls dort citirten Messungen von Danger. (§. 12, Citat 12.) Was die Ausdehnung der Scala und des Quecksilbers betrifft, finden wir im Anhange neben den allgemeinen Reductionsgleichungen hierüber auch einige erläuternde practische Beispiele. Im Uebrigen werden wir, wenn Abänderungen der gebräuchlicheren Scalen (die ebenfalls bei den einzelnen Barometern genau beschrieben sind), vorkommen, besonders darauf aufmerksam machen. Nur auf Eines wollen wir hier noch aufmerksam machen. Die Scalen dienen natürlich zur genauen Bestimmung der Höhen der Quecksilbersäulen; indeß ist unter Umständen, wenn die Schwankungen schnell und unerwartet auftreten, die Beobachtung der Säulenhöhe schwierig. Babinet hat nun in Compte rendu 28 p. 521 einen Apparat beschrieben, dem er den Namen Sympiezometer gegeben, um durch ihn die mit starken Windstößen verbundenen plötzlichen Barometerschwankungen deutlich zu erkennen und zu messen. Man bringt auf den Boden eines Glasgefäßes von 1 Liter Inhalt einige Centimeter Wasser, verschließt es dann hermetisch durch einen Kork, der durch eine Röhre von 1 bis 2 Millim. innerem Durchmesser durchgebohrt ist, die unter den Wasserspiegel geht. Indem man nun durch Einblasen die Luft verdichtet, trägt sie eine über das Gefäß emporreichende Wassersäule. Wird nun das Gefäß durch Umhüllungen vor dem Temperatureinflusse geschützt, so zeigt das Steigen oder Sinken der Wassersäule sehr geringe Schwankungen des Luftdruckes an. Babinet bemerkte auf diese Weise Schwankungen von 1 Millim., 2 Milli-

meter, sehr viel stärkere von 4 bis 5 Millimeter. Indeß behauptet er nach seinen Untersuchungen Schwankungen über 7 Millimeter nie beobachtet zu haben.

A. Gefäßbarometer.

(Baromètre à réservoir.)

§. 12.

Barometer von Torricelli und Ramsden.

Das einfachste Gefäßbarometer construirte Torricelli, indem er die mit Quecksilber gefüllte Röhre in eine mit Quecksilber gefüllte Wanne tauchte. Indeß läßt sich hier sofort ein Uebelstand bemerken, der darin besteht, daß ein Maßstab nur mit großen Schwierigkeiten an der Säule befestigt werden kann, wenn der Nullpunkt der Scale genau mit dem Quecksilberniveau im Gefäß übereinstimmen soll. Diese Uebereinstimmung ist eine Nothwendigkeit; sie ist aber schwer zu erreichen, weil das Quecksilberniveau, also mit ihm der Nullpunkt, mit wechselndem Luftdruck sich verändert. Deshalb war es von Ramsden (Philosophical Transactions 177, p. 658) eine gute Einrichtung, daß er umgekehrt den Boden des Gefäßes so beweglich machte, daß dieser gehoben und gesenkt werden konnte. — Ramsden wandte einen Ledersack an, der später in Form und Materie von Horner und Fortin verändert wurde. Wir besprechen nun die einzelnen Barometer so genau, daß ihre Construction recht ersichtlich wird. —

§. 13.

Fortin's Barometer.

Wir lassen zunächst die Construction des Fortin'schen Barometers in ihrer ursprünglichen Form folgen und verweisen auf Fig. 7, Taf. IX:

Die Glasröhre ist durch eine, dieselbe umgebende Kupferröhre geschützt, welche einen Längespalt hat, um die Beobachtung der Quecksilbersäule zu gestatten. Am obern Ende ist das Ganze so aufgehängt, daß ihm eine Bewegung nach zwei, einander rechtwinklig durchkreuzenden Richtungen frei steht; und die Säule wird durch ihr eigenes Gewicht immer in verticaler Lage erhalten. Das Gefäß, in welches die Röhre taucht, hat einen beweglichen Boden, der mittelst einer Schraube V beliebig erhöht oder herabgelassen werden kann, was ein entsprechendes Steigen oder Fallen des innern Quecksilberniveaus im Gefäß zur Folge hat. Will man die Barometerhöhe beobachten, so macht man von dieser Bewegung Gebrauch, die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß genau in Berührung mit dem Ende einer ganz feinen Elfenbeinspitze P zu bringen, welche vertical im Innern des Apparats befestigt ist. Die Kupferröhre ist mit einer Scale versehen, deren Anfang genau bei dem untern Ende dieser Spitze befindlich ist. Man hat mithin nur noch nachzusehen, bei welchem Punkte dieser Scale das obere Ende der Quecksilbersäule stehen bleibt. Um diese Beobachtung einer größeren Genauigkeit fähig zu machen, ist an der Kupferröhre ein Läufer C angebracht, versehen mit einem Vernier, der die Beobachtung wenigstens bis auf Zehntheile von Millimetern gestattet. Unten an demselben fügt man zwei kleine verticale Kupferplatten an, durch deren Enden eine, auf die Länge der Röhre vollkommen senkrechte Visirebene bestimmt wird. Will man die Beobachtung anstellen, so verschiebt man den Vernier, bis die Visirebene genau zur Berührungs-

ebene für die obere convexe Fläche des Quecksilbers wird. Dann giebt die auf der Röhre verzeichnete Scale mit der größten Schärfe den zwischen der Visirebene des Läufers und dem untern Ende P der Elfenbeinspitze enthaltenen Abstand an, und dieser Abstand ist nichts anderes, als die Länge der über dem innern Niveau des Gefäßes stehenden Barometersäule. In dieser Länge also hat man das Maß für den Druck, den die Atmosphäre zu der Zeit, wo man die Beobachtung anstellt, ausübt. Fast überflüssig ist die Bemerkung, daß während der ganzen Operation das Instrument in einer vollkommen verticalen Lage erhalten werden muß, eine Bedingung, die man erfüllt, indem man es frei von seinem Aufhängungspunkte herabhängen läßt.

Um alle Beobachtungen dieser Art unter einander vergleichbar zu erhalten, ist die Angabe erforderlich, welche Temperatur das Quecksilber in der Barometerröhre hat.

In der neuesten Zeit hat Delcros (vergleiche Bulletin de la Société géologique de France T. 12, pag. 446 und Pogg. Ann. Bd. 60, pag. 374, ferner Pogg. Ann. Bd. 52, pag. 519) durch Ernst in Paris dem Fortin-Barometer eine andere Einrichtung gegeben, die interessant ist, und deshalb folgt

§. 14.

Delcros-Ernst-Barometer.

Gefäßbarometer mit constantem Niveau.

Das Gefäß ist im Ganzen eine Abänderung des Barometers von Fortin, nach dessen Tode, wie Herr Delcros glaubt, die Kunst der Verfertigung dieses Instruments verloren gegangen sein soll. In dem oberen Theile ist es ihm sogar ganz gleich, nur in dem untern, der das Gefäß enthält, weicht es in einigen Stücken von

ihm ab, daher auch nur dieser in Fig. 1, Taf. XIII, abgebildet worden ist, zur Hälfte in Durchschnitt, zur Hälfte im Angesicht.

Das Gefäß ist zusammengesetzt aus zwei Hauptstücken n e b und b b′ a″ q′.

Der obere Theil desselben besteht aus einem Deckel b n′ mit einem darauf stehenden Cylinder; letzterer endigt oben in einen erweiterten Hals n′, über welchen das Leder g gezogen wird, das sich in eine Verengerung g′ der Barometerröhre t t′ legt und dadurch einerseits diese Röhre auslösbar befestigt, und andererseits zwischen n und g′ hindurch dem äußeren Luftdruck gestattet, auf die Oberfläche c c′ des Quecksilbers im Gefäße zu wirken. Dieß Stück n n′ ist von Buchsbaumholz. Dasselbe ist umschlossen von dem Messingcylinder f″, der oben einen Ansatz mit der Schraube o o trägt. Auf letztere schraubt sich die Mutter des unteren Endes der Messingröhre e″ e‴, welche, wie beim Fortin'schen Instrument, die ganze Barometerröhre umschließt und mit Scale und Nonius versehen ist. Bei f″ geht durch den Deckel n′ der Elfenbeinstift d hindurch, der an der Messingplatte e e′ unveränderlich befestigt ist, und immer denselben Abstand von dem letzten Theilstrich der Scale behält. Die untere Spitze dieses Stifts befindet sich mitten in der Breite des ringförmigen Meniscus c″ der Quecksilberkuppe, und entspricht genau dem Nullpunkt der Barometerscale. Drei Stifte mit Schrauben a a, a a′, a″ a″ verbinden den oberen Theil des Gefäßes mit dem Cylinder, der den unteren Theil desselben bildet.

Dieser untere Theil besteht zunächst aus einem Glascylinder b b′ b″, welcher das Durchsehen auf das Quecksilber gestattet. Unten bei b′ ist derselbe in dem Cylinder fest gekittet, und oben bei b wird er mittelst der Schrauben a, a′ a″ gegen einen unter dem Deckel liegenden Lederring gepreßt. Dies bewirkt einen sichern Verschluß, und erlaubt den Cylinder abzunehmen und zu reinigen.

Der untere Theil des Gefäßes, welcher das Quecksilber enthält, besteht aus zwei hohlen Cylindern von Buchsbaumholz k und m, welche durch die Schraube r verbunden und von einem Messingcylinder umschlossen sind, der sich in s s' voneinander schrauben läßt. Die untere Hälfte enthält an ihrer Grundfläche eine Mutter mit der Schraube q q', welche bestimmt ist, den Buchsbaumboden h h' zu heben oder zu senken. Auf letzterem ruht der Ledersack h h' h'' h''', der das Quecksilber enthält, bei h' an dem Buchsbaumboden und bei h''' an dem Buchsbaumcylinder festgebunden ist.

Die Vorzüge dieses Barometers vor dem Fortin'schen bestehen wesentlich darin, daß es sich, wenn die Quecksilberfläche oxydirt oder der Glascylinder blind geworden ist, mit Leichtigkeit auseinandernehmen und reinigen läßt, und daß ebenso, wenn die Röhre beschädigt worden, jeder Reisende ohne Umstände eine neue einsetzen kann, falls er solche im Vorrath mit sich führt. Dabei ist das Instrument etwa drei Pfund leichter. Es hat sich übrigens vollkommen bewährt, da es auf der französischen Nord-Expedition, in Lappland, Finnmarken und Spitzbergen vielfach gebraucht und unbeschädigt wieder nach Paris zurück gebracht worden ist.

§. 15.

Gefäßbarometer mit veränderlichem Niveau.

Man sieht die wesentlichen Theile desselben in Figur 2, Taf. XIII, abgebildet. Die Röhre hält bei a a' 7 bis 8 Millimeter im Lichten, unterhalb b b' ist sie enger, und ihre Oeffnung unten bei a' hat noch geringeren Durchmesser. Bei p p' enthält sie, wie die Gay-Lussac'schen Heberbarometer (welche Instrumente, wegen ihrer großen Enge, von Herrn Delcros mit Recht für eben so unzuverlässig erklärt werden, als sie wegen ihrer complicirten Gestalt zerbrechlich sind), einen trichter-

förmigen Einsatz (poche), um die eben eingedrungene Luft aufzufangen und am Aufsteigen in das Vacuum zu hindern. Das Gefäß besteht aus einem Glascylinder b b' b'' b''' b'''', der den dünneren Theil der Röhre umschließt und oben mit einer (eisernen) Mutter q q' versehen ist, mittelst welcher und der auf die Röhre gekitteten Schraube v v' die Verbindung beider hergestellt wird. Nach unten hat es eine Verengerung und oben ein Löchelchen, um der äußeren Luft den Eintritt zu gestatten.

Der Durchmesser des cylindrischen Gefäßes und der Röhre sind so berechnet, daß die Capillardepression des ringförmigen Meniskus m m' im Gefäß beinahe die in der Röhre aufhebt. Wo indeß eine große Genauigkeit verlangt wird, muß man diese Depression besonders berichtigen. Dazu giebt Herr Delcros die folgende Tafel, die von ihm neuerlich (1841) nach den Formeln von Schleiermacher berechnet worden ist.

Tafel zur Berichtigung der Capillardepression in Barometern.

a. / b.	Durchmesser der Röhre. Millim.	Höhe des Meniscus in Millimetern.								
a.		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
b.		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
a.	1,0	1,268	2,460	3,516	4,396	5,085				
	1,6	0,484	0,955	1,404	3,162	3,728	4,190			
	2,0	0,320	0,598	0,883	1,158	1,413	1,648	1,859	2,046	2,209
	2,6	0,170	0,337	0,502	0,661	0,813	0,958	1.093	1,218	1,332
	3,0	0,122	0,243	0,362	0,478	0,591	0,698	0,800	0,896	0,985
	3,6	0,079	0,157	0,234	0,310	0,384	0,455	0,524	0,590	0,652
	4,0	0,060	0,120	0,180	0,238	0,293	0,350	0,404	0,455	0,504
	4,6	0,042	0,083	0,124	0,164	0,204	0,242	0,280	0,316	0,351
	5,0	0,033	0,065	0,098	0,130	0.161	0,192	0,221	0,250	0,278
	5,6	0.023	0,047	9,070	0,092	0.115	0,137	0,158	0,179	0,199
	6.0	0,019	0,037	0,056	0,074	0,092	0,110	0,127	0,144	0,160
	6,6	0,014	0,027	0,041	0,054	0,067	0,080	0,093	0,105	0,117
	7,0	0.011	0,022	0.033	0,044	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095
b.	2,0	2,348								
	3,0	1,068	1,143	1,210	1,270	1,322	1,368			
	4,0	0,551	0,594	0,635	0,673	0,707	0,738	0,766	0,790	
	5,0	0,305	0,330	0,354	0,377	0,398	0,418	0,436	0,452	
	6,0	0,176	0,191	0,205	0,219	0,231	0,243	0,254	0,264	0,273
	7,0	0,105	0,114	0,122	0,130	0,138	0,145	0,152	0,158	0,163

§. 16.

T. du Moncel's Barometer.

(Baromètre-Fortin d'un nouveau système.)

(Man vergleiche **Institut. 1855, pag.** 362 bis 363, und **Archive des sciences phys. 30. 337.)**

Moncel hat die Ungenauigkeiten und die Unsicherheiten, die sich beim Einstellen auf die Fortin'sche Elfenbeinspitze ergeben und ein Schwanken des Nullpunktes erzeugen, getadelt und statt der erwähnten Spitze ein Platinstiftchen, das nach außen hin mit einer Schraubenklemme verbunden ist, zu substituiren vorgeschlagen. Dieses Platinstiftchen ist leitend mit dem positiven Pole einer Kupfer-Zinkkette verbunden, während ein in das Quecksilber des Gefäßes eintauchender Platindraht an den negativen Pol jener Kette geht. Seitwärts sehen wir gleichzeitig in die Kette ein Galvanometer, oder besser, einen electro-magnetischen Wecker und einen Stromunterbrecher eingeschaltet. Stellt man nun das Niveau auf Null, so wird jedes Fallen oder Steigen der Quecksilbersäule eine Veränderung der Kette hervorrufen, nämlich im ersten Falle ein Schließen, im andern ein Oeffnen, wenn der Unterbrecher gedreht wird. Der angebrachte Wecker wird somit den Augenblick anzeigen, wenn Stift und Quecksilber sich berühren, und zwar sehr genau, da die leiseste Tangirung die Schließung bewirkt.— Auf diese Weise ist das Einstellen des Stiftes durch ein electro-magnetisches Rheoscop controlirt. —

§. 17.

Readman's Barometer.

(Vergleiche **Mechanic. Magazine,** September 1842, S. 290, und in der Uebersetzung Dingler's polytechn. Journal, Bd. 87, **S. 68.)**

Readman sucht durch seine Construction folgende Schwierigkeiten zu beseitigen: Den Einfluß des Temperaturwechsels auf die Quecksilbersäule mit in Rechnung zu bringen, ferner den geringen Fallraum des Quecksilbers und den störenden Einfluß der Veränderlichkeit des Quecksilberniveaus in dem Gefäß. —

Fig. 1, Taf. X, stellt einen nach diesem Princip construirten Radbarometer dar. a, b, c ist ein Quecksilber enthaltender Cylinder, in dessen Quecksilber ein zweiter Cylinder d, e schwimmt, welcher die Cisterne des Barometers bildet. Das in dem Cylinder a, b, c enthaltene Quecksilber vertritt die Stelle der oben erwähnten Federwaage. a die Barometerröhre; f ein rings um den oberen Boden der Cisterne laufender messingener Kranz, an dessen untere Kante die hervorstehende kreisrunde Platte g gelöthet ist; h, i zwei senkrechte Stangen, welche in die Platte g geschraubt, und oben durch ein Querstück k mit einander verbunden sind; l eine gezahnte Stange, die von der Mitte des Querstücks k in die Höhe geht; in diese Zahnstange greift ein Zahnrad m, an dessen Axe der Zeiger eines genau graduirten Zifferblattes befestigt ist; n, o Frictionsräder, die zu beiden Seiten des Kranzes g angebracht sind und längs des Gestelles r s in Rinnen laufen; p eine dritte Frictionsrolle, gegen welche die Zahnstange l beim Steigen und Sinken sich lehnt. Um die Zahnstange in directer Richtung über dem Mittelpunkte der Cisterne zu erhalten, ist die Barometerröhre bei t ein wenig zur Seite gebogen. Die Wirkung ist nun folgende: In dem Maße, als die Quecksilbermenge in der Cisterne d e zu- oder abnimmt, steigt oder sinkt, die Cisterne in dem im äußern Cylinder a, b, c enthaltenen Quecksilber, und vermittelst der Stäbe h, i der Zahnstange und des Rades l, m wird dieses Steigen oder Fallen ganz genau auf den Zeiger übergetragen und durch dessen Spitze angezeigt. Wünscht man dieses Instrument tragbar zu machen, so drückt man zunächst die Platte g auf den Cylinder a, b, c nieder, so daß sie den Deckel desselben bil-

det, dann neigt man das Instrument, bis sich die Barometerröhre a ganz gefüllt hat. Hierauf macht man die Röhre a von ihren Befestigungen los und drückt sie gegen den Boden der Cisterne, welcher mit einem Stück weichen Leders bedeckt ist, endlich schiebt man den Stöpsel u an der Röhre a hinab und verschließt die Mündung der Cisterne.

Durch Anbringung einer festen Scale an der Röhre a können die geringsten Schwankungen im atmosphärischen Drucke wahrnehmbar gemacht werden; denn außer der Verlängerung oder Verkürzung der Quecksilbersäule in Folge der Veränderungen des Luftdrucks zeigt eine solche Scale auch noch das Steigen oder Sinken der Cisterne an, dessen Betrag noch zu der Quecksilbersäule in Rechnung gebracht werden kann. Angenommen die letztere sinke von 31 auf 28 Zoll herab: wäre nun die Cisterne fest, so würde die Scale einen Fall von nur 3 Zoll anzeigen; da jedoch die Cisterne auf die oben beschriebene Weise im Quecksilber schwimmt, und daher im Verhältniß der Zu- oder Abnahme ihrer Quecksilbermenge steigt oder sinkt, so hat dadurch die Quecksilbersäule noch einen weiteren Fall, und zwar in dem Verhältnisse der Depression, die durch jene drei in die Cisterne herabgesunkene Zolle Quecksilber veranlaßt wird.

Um das Instrument zu graduiren, giebt der Patentträger folgende Anleitung. Gesetzt, die Quecksilbersäule spiele innerhalb der Gränze von 3 Zoll, so muß das Gewicht dieser 3 Zoll bestimmt und eine gleiche Quantität Quecksilber aus der Cisterne genommen werden, wobei man vor und nach der Operation genau die Stellung der Zeigerspitze markirt. Von der aus der Cisterne genommenen Portion nimmt man nun eine dem Ueberschuß der Säule über 28 Zoll gleiche Quantität Quecksilber hinweg und gießt den Rest wieder in die Cisterne zurück. Wiegen z. B. jene 3 Zoll Quecksilber 3 Unzen und die Cisterne steht auf $28\frac{1}{2}$ Zoll, so wären anstatt 3 Unzen nur $2\frac{1}{2}$ Unzen zurückzugießen, weil der Barometerstand die 28 Zoll um $\frac{1}{2}$ Zoll überragt. So-

bald das Quecksilber wieder in die Cisterne fließt, kehrt auch die Zeigerspitze in ihre ursprüngliche Lage wieder zurück. Der zwischen den beiden Punkten liegende Raum wird auf die gewöhnliche Weise eingetheilt.

Fig. 2, Taf. X, stellt eine andere, gleichfalls sehr scharfsinnige Anordnung dar, bei welcher eine Art Schnellwaage mit dem Barometer in Verbindung gebracht ist. An den Boden des Gestells oder Gehäuses, welches die Cisterne c, d enthält, ist ein metallner Cylinder a, b befestigt, der diese Cysterne theilweise umfaßt; der Durchmesser des Cylinders ist etwas größer als derjenige der Cisterne. Rings um den obern Theil der Cisterne läuft ein metallener Kranz, welcher über die Seiten des Cylinders ein wenig hervorragt und nach unten etwas verjüngt ist, um die Cisterne genau in der Mitte des Cilinders a, b zu erhalten; e, f ist ein um den Stützpunkt h drehbarer Hebel mit einem verschiebbaren Gewichte g. Der kürzere Arm dieses Hebels endigt sich in eine Gabel Fig. 3, Taf. X, deren beide Arme mit conischen Spitzen versehen sind, welche in entsprechende, in dem Kranze der Cisterne befindliche Löcher treten. Um die Höhe der Säule zu ermitteln, wird der Hebel in horizontale Lage gebracht, indem man den kürzern Arm aufwärts gegen das Visir J bewegt; zugleich erfaßt das gabelförmige Ende dieses Arms den Kranz der Cisterne, hebt dieselbe und hält sie vermittelst der in die Löcher des Kranzes eingetretenen Spitzen immer in gleichem Abstande von dem Stützpunkte. Hierauf bewegt man das Gewicht g gegen den Stützpunkt hin und ermittelt auf diese Weise die Höhe der Quecksilbersäule. Wenn der Hebel außer Gebrauch ist, so kann man ihn in eine senkrechte, im Gestell angebrachte Vertiefung umlegen.

Readmann hat auch ein Mittel erfunden, den Barometerstand photographisch darzustellen. Er beschreibt dasselbe, wie folgt:

Man bringe an der hinteren Seite der Cisterne oder Federwaage eine metallene Kreisscheibe von gleichem Durchmesser wie das Zifferblatt an, welche an ih-

rer Vorderfläche mit photographischem Papier überzogen ist, und lasse die Mittelpunkte beider Platten genau coincidiren. Zwischen dem Umfange des Zifferblattes und seinem eingetheilten Kreise ist ein ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll breiter Saum gelassen. Quer über diesem Saume, direct über oder unter dem Centrum der Scheibe, mache man einen schmalen Schlitz. Hinter dem Zifferblatte und vor diesem Schlitze bringe man einen Metallstreifen an, welcher an die Cisternen- oder Federwaage befestigt ist, deren unterer Theil, wenn die Quecksilbersäule ihren höchsten Stand erreicht hat, sich mit dem oberen Ende des Schlitzes in gleicher Höhe befindet. Da nun das Steigen oder Sinken der Cisterne oder Federwaage die Länge der auf das photographische Papier geworfenen Lichtlinie vermehrt oder vermindert, so wird sich, wenn man die registrirende Platte durch irgend ein geeignetes Mittel rotiren läßt, auf dem photographischen Papier ein runder Saum bilden, dessen äußerer Rand die Schwankungen in dem Drucke der Atmosphäre genau repräsentirt. Da sich jedoch diese Methode nur für die Tageszeit eignet, so treffe man, wenn es sich darum handelt, die Registrirung Tag und Nacht fortzusetzen, folgende Einrichtung. Man befestige nämlich an die Cisterne oder Federwaage einen Bleistift, dessen Spitze durch eine Feder leicht gegen eine gewöhnliche, über die registrirende Scheibe gespannte Papierfläche gedrückt wird. Läßt man nun die Scheibe langsam rotiren, so stellt der Bleistift das Steigen und Sinken der Quecksilbersäule durch correspondirende Linien auf dem Papiere graphisch dar.

§. 18.

Barometer von de Celles.

(Nouveau baromètre à mercure. Compte rendu 17, pag. 543.)

Dieses Gefäßbarometer unterscheidet sich durch sein constantes Niveau und durch einen Minimumindex, au-

ßerdem daß es die Gestalt einer Equerre besitzt, von den andern gewöhnlichen Barometern. Das Gefäß geht nämlich in eine horizontale 4 — 5 Millim. weite Röhre aus, deren Länge sich nach der Empfindlichkeit des Instrumentes richtet und die zur Verbindung des Barometerrohres mit dem Gefäße dient. Es ist in der horizontalen Röhre ein eiserner Indexcylinder angebracht, der bei Verringerung des Luftdrucks von links nach rechts tritt und bei der Erhöhung nicht nach der andern Seite hin sich ändert. Auf diese Weise dient dieses Barometer zur Registrirung des niedrigsten Barometerstandes, und wird der Index in die normale Lage durch einen Magnet gebracht. —

§. 19.

Barometer von Kreil und Darlu.

Kreil, ausführlich in Wiener Acad. Berichte 14, p. 397.

Die Construction des Barometers von Kreil ist insofern eine eigenthümliche, als die Röhre nur die halbe Länge der gewöhnlichen haben darf. Das Gefäß ist dem Fortin'schen sehr ähnlich, aber auf die successive Einstellung des Quecksilberspiegels auf zwei Spitzen in der Art calibrirt, daß, wenn das Gefäß nach Einstellung des Quecksilbers auf die erste Spitze von der äußern Luft abgesperrt und dann der Spiegel auf die tiefere Spitze eingestellt wird, die Luft in Gefäße gerade die halbe atmosphärische Dichte hat, folglich in der Barometerröhre die Hälfte des wahren Barometerstandes abzulesen ist. —

Beiläufig sei noch bemerkte, daß das Barometer von Darlu (Compt. rendu 41, p. 540) nur eine Modification des Morland'schen ist, welches wiederum wenige Vortheile darbietet, so daß es hier historisch erwähnt werden mag. —

§. 20.

Uhrbarometer von Blackadder.

Edinb. Journal of Sc. VI., p. 251.

Das Princip, auf welchem das Verfahren beruht, ist das, daß er für einen gegebenen Zeitpunkt mittelst eines Uhrwerkes alle Communication des Instrumentes mit der äußern Luft unterbricht. Um dieses zu erlangen, wendet er ein Gefäßbarometer an, bei welchem ein nur 2 Zoll tiefes Gefäß einen sehr großen Durchmesser besitzt und soweit mit Quecksilber gefüllt ist, daß nur ein sehr kleiner Raum für die Luft übrig bleibt. Am obern Theile des Gefäßes ist ein Hahn angebracht, den das Uhrwerk mittels Hebels in dem Augenblicke schließt, wenn der Gang des Barometers durch Veränderungen im Luftdruck geändert wird. Die Ablesung kann dann zu jeder beliebigen Zeit geschehen.

§. 20.

Barometer (Luftdruck-Waage) von Secchi.

Wir lassen hier eine Construction des berühmten Astronomen in Rom folgen und verweisen auf die Quellen:

Compt. rendu. Januar 1857, in der Uebersetzung Dingler's polytechn. Journal 144, p. 125. —

Angenommen, man besitze ein Barometer mit Gefäß, dessen Röhre einen hinreichend (z. B. 15 Millim.) weiten Durchmesser hat, man stelle das Gefäß auf einen Tisch, und die cylindrische Röhre könne in die Höhe gezogen werden, indem man sie mit der Hand faßt: so kann man fragen, welche Kraft wird zum Heben dieser Röhre erforderlich sein. Thatsächlich und der Theorie entsprechend, muß man dazu eine Kraft aufwenden, die genau dem Druck gleichkommt, welchen die Atmosphäre auf das Quecksilber des Instrumentes ausübt, d. h. man muß das Gewicht des in dieser Röhre enthaltenen Queck-

silbers heben. Man kann folglich auf eine sehr einfache Weise den Druck der Atmosphäre wirklich wägen, indem man das Barometer an der einen Schale einer Waage befestigt und in die andere Schale Gewichte legt; und es ist einleuchtend, daß man bei jeder Veränderung des Luftdrucks eine entsprechende Aenderung in den Gewichten der zweiten Schale wird vornehmen müssen. Will man den Werth des absoluten Drucks auf die Flächeneinheit erhalten, so muß man selbstverständlich das Gewicht der Röhre, den Gewichtsverlust des in Quecksilber eingetauchten Röhrentheils, und hauptsächlich den innern Querschnitt der Röhre berücksichtigen. Die Nothwendigkeit, den innern Durchmesser der Röhre zu kennen, ist jedoch bei der neuen Construction kein Uebelstand; sondern im Gegentheil ein sehr großer Vorzug, denn durch Vergrößerung des Querschnitts dieser Röhre kann man die auf das Instrument wirkende Kraft nach Belieben verstärken. Angenommen die Röhre habe einen Querschnitt von 10 Quadratcentimetern und der Druck ändere sich um 1 Centimeter Höhe, so wird das der zweiten Schale beizufügende Gesammtgewicht 10 Cubikcentimeter Quecksilber oder 135 Gramme betragen, während es nur 13,5 Gramme betrüge, wenn die Röhre einen Querschnitt von 1 Quadratcentimeter hätte. Dieser Umstand läßt sich also vortheilhaft für Empfindlichkeit des Instrumentes benutzen.

Man gehe nun auf die neue Construction des Apparates über: sie besteht einfach darin, die Barometerröhre frei an den Arm irgend eines Hebels zu hängen, z. B. an den Balken irgend einer gleicharmigen oder ungleicharmigen Waage; um aber der Mühe überhoben zu sein, jedesmal bei jeder Beobachtung wägen zu müssen, kann man an dem Hebel einen mehr oder weniger langen Zeiger anbringen, welcher sich vor einer graduirten Scale bewegt, so daß die Veränderungen im Druck sehr leicht abzusehen sind. Secchi ließ einen solchen Apparat im Observatorium ausführen, dessen Röhre einen Durchmesser von 15 Millimeter hat; er ist eine

Art römischer Waage, an deren kurzem Arm die Röhre aufgehängt ist, welcher auf der andern Seite ein Gegengewicht das Gleichgewicht hält; eine lange Zunge von Glas diente Anfangs als Index, aber später hat Secchi über der Anhängeschneide einen Spiegel befestigt, in welchem er das Bild einer entfernt angebrachten graduirten Scale beobachtete.

Die Vortheile, welche die neue Construction zu versprechen scheint, bestehen in Folgendem:

1) Da der Druck nicht durch die Höhe der Quecksilbersäule gemessen, sondern gewogen wird, so kann man die Röhre aus einem beliebigen Material anfertigen, namentlich von Eisenblech, welches sich nicht amalgamirt; das Instrument wird also nicht mehr so zerbrechlich sein wie bisher, und will man das Glas beibehalten, so kann man jede Sorte von Röhren anwenden, wenn sie nur in dem Raum, in welchem die Quecksilbersäule schwankt, einen constanten Durchmesser haben.

2) Da man durch Vergrößerung des Querschnitts der Röhre die Kraft und das Gleichgewicht vergrößert, so kann man letzteres als Triebkraft benutzen, um das Instrument selbstregistrirend zu machen.

3) Die neue Construction ist unabhängig von der Form der Quecksilberkuppe, von der Reinheit des Quecksilbers und seinem specifischen Gewichte, von der Temperatur und von dem Unterschied der Schwere in verschiedenen Breiten; denn alle diese Größen haben einen Einfluß auf das Volum des Quecksilbers und auf die Höhe der Säule, welche man messen muß, um sein Gewicht zu erhalten, wogegen hier das Gewicht unmittelbar gegeben ist. Wendet man eine Röhre von Eisen an, so hat man nicht in dem Grade wie beim Glas die Adhäsion der Luft und der Feuchtigkeit zu fürchten, und man kann auch das Quecksilber sehr leicht ohne Gefahr für die Röhre auskochen.

4) Wenn man die Röhre von Eisen macht, so läßt sich das Instrument sehr leicht transportiren und eignet sich daher besonders zum Höhenmessen.

5) Wegen der Glasröhren konnte man bisher nur Quecksilber als Flüssigkeit für ein Barometer anwenden; in der Folge kann man aber auch Wasser oder andere Flüssigkeiten zu diesem Zwecke benutzen.

Das Barometer, welches Secchi nach dem neuen Princip ausführte, zeigt Veränderungen im Luftdruck immer früher als ein gewöhnliches Barometer an, wie dieses bekanntlich die vollkommensten Barometer thun.

§. 22.

Die Luftdruckwaage als Barometrograph.

Der Barometrograph, welchen Secchi nach dem Princip der Luftdruckwaage construirte, ist in Fig. 4, Taf. X abgebildet.

An den kurzen und horizontalen Arm eines starken Hebels L, L' ist die gläserne Barometerröhre B, B gehängt, welche in ihrem längsten Theil einen mittlern Durchmesser von 18 Millim. hat, aber am obern Ende eine cylindrische Erweiterung von 60 Millim. Durchmesser und 150 Millimeter Länge. Diese Röhre wurde wie die gewöhnlichen Barometer gefüllt und das Quecksilber bleibt auf der geeigneten Höhe in ihrem Innern stehen, so daß seine Schwankungen in Folge des veränderten Luftdrucks immer im weiten Theil stattfinden. Diese Röhre taucht in ein weites und tiefes Gefäß mit Quecksilber, welches den Bewegungen derselben nicht hinderlich ist. Der Hebel L, L' ist auf der andern Seite des Stützpunktes mit einem Arm L'' von beiläufig 1 Meter Länge versehen, dessen Krümmung einen Winkel von 45 Grad mit dem Horizont bildet. Das an diesem Arm befestigte Gewicht P ist verschiebbar, um das Gleichgewicht leichter herstellen zu können. Mit der Achse o des Hebels ist die Stange o, p verbunden, welche mit einer andern Stange p, q und durch diese mit q, r in Verbindung steht. Dieses System bildet eine Art Watt'sches Parallelogramm, und der Zeichenstift bei m, in der Mitte der Stange p, q, zeichnet die baro-

metrische Curve auf ein Papierblatt, welches über den Rahmen t, t' gespannt ist. Mittelst einer oben auf dem Gestell C, C, C, C, angebrachten Uhr O senkt sich dieser Rahmen langsam zwischen den Führern g g', g' g'' per Tag um 30 Centimeter herab, wonach es stehen bleibt. Das Quecksilber, welches mit der Veränderung des Luftdrucks in der Röhre steigt oder fällt, bewegt den Winkelhebel und folglich die Stange o, p, und die Bewegung des Zeichenstifts, welche aus der Bewegung der Verbindungsstange p, o und dem Lauf der Tafel zusammengesetzt ist, verzeichnet die tägliche barometrische Curve mit aller wünschbaren Genauigkeit.

Secchi hatte bei der Construction des Barometrographen eine Schwierigkeit zu überwinden, welche durch die Anwendung einer erweiterten oder conischen Quecksilberröhre veranlaßt wurde, indem eine solche, an einer zweiarmigen Waage aufgehängt, nicht im Gleichgewicht erhalten werden kann, daher er die Waage aufgeben und sie durch den beschriebenen unbiegsamen Hebel ersetzen mußte. Bei Anwendung einer cylindrischen Röhre stößt man auf keine Schwierigkeit. Sowohl bei der gleicharmigen als bei der ungleicharmigen Waage findet nämlich das Gleichgewicht nur statt bei Gleichheit der Momente bezüglich der Achse, und diese Gleichheit ist ungeachtet der Neigung der Arme stets vorhanden, denn es besteht immer noch die Gleichung $p r = p' r'$. Ist die Röhre aber conisch und erweitert, so muß die Neigung eines Armes das Gleichgewicht aufheben, denn wenn die Waage sich auf der Seite der Röhre neigt, so wird die Quecksilbersäule, ohne ihre Höhe zu ändern, ihr Volum und folglich ihr Gewicht p' ändern, so daß man hat $p r < p' r'$. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, muß man also entweder p oder r vergrößern; dies geschieht aber unmittelbar durch den unbiegsamen Winkelhebel, denn dieselbe Bewegung, welche die Röhre neigt, erhöht den Schwerpunkt der Verlängerung des Hebels und der wahre Hebelarm r wird größer, indem

er sich ein wenig von der Senkrechten entfernt, welche durch den Aufhängepunkt geht.

Nachdem diese Schwierigkeit überwunden war, wurde der Apparat sehr einfach, so daß er von gewöhnlichen Arbeitern ausgeführt werden kann; wendet man als Röhre eine cylindrische eiserne Flasche mit langem Halse an, so ist die Gefahr des Zerbrechens beseitigt. — Man könnte den Apparat auch in der Weise construiren, daß man die Röhre befestigt und das Gefäß ins Gleichgewicht setzt.

B. Heberbarometer (Baromètre à siphon).

Das Heber- oder Schenkelbarometer rührt von Boyle her. (Man vergleiche Novorum Experimentorum physico-mechanicorum continuatio prima. Genevae 1694). Wir übergehen hier die ältern Constructionen Boyle's und de Luc's (Untersuchungen über die Atmosphäre, Leipzig 1778) und wenden uns zu den neueren.

§. 23.

Barometer nach Gay-Lussac.

Das Barometer ist unten, wie die Fig. 8, Taf. IX zeigt, aufwärts gebogen, und bildet solchergestalt zwei parallele Schenkel CS und CN. Um einen Apparat von dieser Einrichtung zu erhalten, nimmt man zuerst eine gerade Röhre, deren ganze Länge gleich SCN ist, und füllt, das verschlossene Ende S abwärts kehrend, den Theil SC mit Quecksilber an, welches man mit allen oben erörterten Vorsichtsmaßregeln darin kochen läßt. Ist dieß geschehen, so giebt man dem Theil CN an der Lampe die Biegung und kehrt darauf den ganzen Apparat um, so daß das geschlossene Ende S oben zu stehen kommt. Da die, diesen Schenkel ausfüllende, Quecksilbersäule länger als die Säule beim gewöhnlichen

Barometerstand ist, und mithin durch ihre Schwere einen größern Druck, als die äußere Atmosphäre, ausübt; so sinkt sie vermöge ihres Gewichtsüberschusses und ein Theil von ihr tritt in den offenen Schenkel C N. Wenn nun unter diesen Umständen der Punkt N der Gipfel der Convexität des Quecksilbers im offenen und S der des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel ist, so erhellt, daß der Niveauunterschied dieser beiden Punkte genau die Länge der Quecksilbersäule angiebt, welche durch den, auf die Oberfläche N im offenen Schenkel an der Atmosphäre ausgeübten Druck in ihrem Stande erhalten wird; und damit dieser Niveauunterschied unabhängig von der Wirkung der Capillarität sei, welche sich uns in den einschenklichen Röhren zu erkennen gegeben hat, wird es hinreichen, daß beide Schenkel der Röhre, bei den beiden Enden N und S der Säule, von fast gleichem Durchmesser seien; denn da die Bestrebungen zur Herabsenkung dann auf beiden Seiten gleich sind, so werden sie sich wechselseitig die Waage halten.

Es bleibt somit nichts weiter übrig, als den Niveauunterschied der beiden Punkte N und S zu messen; zu diesem Zweck verzeichnet man eine Scale A H in verticaler und mit dem Schenkel paralleler Richtung. Ein horizontaler Läufer oder Schieber H S, gleich dem, an den Gefäßbarometern angebrachten, bewegt sich parallel mit sich selbst längs dieser Scale. Man stellt ihn zuvörderst so, daß die Ebene, in der man visirt, zur Berührungsebene des einen Endes der Säule wird, z. B. des Gipfels der obern Convexität S, und merkt den correspondirenden Punkt der Scale, der z. B. H sein wird, an. Darauf führt man den Schieber an das andere Ende der Säule nach N und wiederholt auf gleiche Weise die Beobachtung. Gesetzt, der correspondirende Punkt der Scale wäre h, so würde der Abstand h H, welchen die Scale angiebt, den Niveauunterschied der beiden Punkte N S, und mithin die Länge der Barometersäule darstellen.

Noch mehr Genauigkeit läßt sich in die Beobachtung bringen, wenn man an dem Schieber eine kleine Lupe anbringt, in deren Innerm ein ganz feiner Faden horizontal ausgespannt ist. Man nimmt alsdann mit der größten Bestimmtheit den Augenblick wahr, wo dieser Faden mit der Quecksilberoberfläche jedes Endes der Säule in eine Horizontalebene kommt.

Gay-Lussac hat am Heberbarometer eine Abänderung angebracht, die dasselbe tragbar und ausnehmend bequem zum Gebrauch für Reisende macht. Ist das Barometer fertig, so verschließt man an der Schmelzlampe das Ende des kürzern Schenkels, welches Y bezeichnet ist, Taf. IX, Fig. 9. In diesem Zustande würde das vollkommen verschlossene Barometer der äußern Luft keinen Zutritt verstatten und mithin auch die Veränderungen ihrer Druckkraft nicht anzeigen können; um aber die Gemeinschaft wieder herzustellen, bringt man inwendig und gegen die Mitte des Schenkels C Y einen kleinen Vorsprung an, der in ein ausnehmend feines und haarförmiges Loch T ausgeht. Dieses Loch verstattet zwar der äußern Luft den Eintritt in den Schenkel C Y, nicht aber dem Quecksilber den Austritt aus demselben, wegen der Kraft, mit der es dieses vermöge seiner Capillarität zurückstößt. Hat man also den Niveauunterschied der beiden Enden S, N der Säule beobachtet, und kehrt nun langsam die Röhre um, so tritt ein Theil des Quecksilbers wieder in den langen Schenkel C H zurück, wie Fig. 10, Taf. IX. zeigt, und füllt ihn vollends aus; während der übrige Theil in den kürzern Schenkel CY herabfällt, aber wegen der Kleinheit des seitlichen Loches T nicht entweichen kann. In dieser Lage läßt sich also der Apparat fortragen; immer wird er offen für die Luft und geschlossen für das Quecksilber sein. Nur muß sich die Röhre bei ihrem Knie in C verengern, damit die Wirkung der Capillarität dieses Knie, auch nach dem Umkehren der Röhre, immer gefüllt erhalte.

Um diesen Apparat tragbar zu machen, kittet man die Röhre in eine Hülle von fester Masse ein. Man

kann auch, was einen sehr großen Vortheil gewährt, den längern Schenkel völlig umschließen, und die Veränderungen des Quecksilberstandes blos im kürzern beobachten. Hierbei ist nur erforderlich, daß diese beiden Schenkel in den Theilen N und S, soweit längs derselben die Enden beider Säulen zu stehen kommen können, genau von gleichem Durchmesser seien; denn alsdann wird das Quecksilber, wenn eine Veränderung im Luftdruck eintritt, in dem einen Schenkel um eben so viel sinken, als es in dem andern steigt; und, um die Totalveränderung, welche die Länge der Barometersäule erfährt, kennen zu lernen, wird man die Veränderung des Quecksilberstandes nur noch in einem der Schenkel z. B. dem kürzern, zu messen brauchen, und das Doppelte davon zu nehmen haben. Um beide Schenkel von einer solchen Gleichheit zu erhalten, nimmt man eine, ziemlich cylindrische Röhre, zerschneidet sie ungefähr in der Mitte ihrer Länge in zwei Theile und bedient sich dieser beiden Hälften, die beiden Enden der Säule aufzunehmen, indem man sie an andere Glasröhren von beliebigem Durchmesser anschmilzt. Der nämliche Zweck läßt sich auch durch eine Röhre erreichen, welche nicht in ihrer ganzen Länge von gleichem Durchmesser ist, und die man dann in Theile von gleicher Capacität durch das, bei Verfertigung der Thermometer auseinander gesetzte Verfahren zu theilen hat. Kennt man solchergestalt das Verhältniß der Capacität beider Schenkel, so läßt sich das Steigen des Quecksilbers in dem einen, nach dem, im andern beobachteten, Sinken desselben berechnen; doch wird dies weniger Bequemlichkeit darbieten, als wenn man beide Schenkel von gleicher Capacität macht, wozu leicht zu gelangen ist.

Das eben beschriebene tragbare Thermometer, nach Gay-Lussac's Angabe, kann in einen Rohrstock eingeschlossen und ohne Schwierigkeit aller Orten mit hingenommen werden. Man bringt an demselben, sowie an dem andern Barometer, ein kleines Thermometer an, welches in die Fassung selbst eingefugt wird und dazu

dient die Temperatur des Quecksilbers zu messen. Damit endlich die Quecksilbersäule durch rasche Stöße, die sie auf der Reise erfahren kann, nicht zu stark gegen die Enden der Glasröhre getrieben werde, was ein Zerbrechen derselben zur Folge haben könnte, mäßigt man diese Bewegungen dadurch, daß man ganz nahe an den Enden X, Y die Röhre sich verengern läßt, so daß ihr innerer Durchmesser an diesen Stellen viel geringer, als oberhalb und unterhalb derselben ist. Dies Mittel bewirkt, wenn die Quecksilbersäule mit Gewalt gegen ein Ende der Röhre getrieben wird, nothwendig eine Verzögerung ihrer Bewegung beim Durchgang durch diese verengerte Stelle, und so gelangt sie an das Ende selbst mit einer zu geringen Geschwindigkeit, um dieselbe zerbrechen zu können. Die Röhre muß lang genug und die verengerte Stelle hinlänglich nahe bei den Enden derselben sein, daß der höchste Punkt S der Säule bei den Beobachtungen nie so hoch zu stehen kommt; denn in diesem Falle würde sich das Quecksilber, wegen der Kraft der Capillarität an dieser engen Stelle, bedeutend senken und große Irrthümer in den beobachteten Höhen verursachen. Diese Verengerung der Röhre nahe an ihrem Ende ist eine Vorsichtsmaßregel, welche man bei Reisebarometern nie aus der Acht läßt.

§. 24.

Barometer von W. Hisinger, Bohnenberger und Romershausen.

Hisinger hat in demselben Jahre (1826), in welchem Gay-Lussac seine Construction veröffentlichte, in Stockholm eine kleine Schrift: „Profile und Tafeln über die Meereshöhe der vornehmsten Berge, Seen und Ströme in Schweden und Norwegen" herausgegeben, in der auch eine Modification, denn Verbesserung kann man es nicht nennen, des Barometers Gay-Lussac's angegeben ist. Diese besteht darin, daß H. neben der Röhre,

die sich ebenfalls in einem Stocke befindet, ein Lineal von Messing anbringt, dessen oberer Theil mit einer dicht anliegenden Scale so versehen ist, daß sich das ganze Lineal durch eine Schraube bewegen läßt. An dem untern Theile des Lineals ist ein Zeiger befestigt, dessen feine Spitze, die den untern Schenkel zur Hälfte umfaßt, durch die Schraube auf das Quecksilberniveau eingestellt wird, worauf die Scale den Barometerstand unmittelbar angiebt. — Bohnenberger hat das Verdienst in seiner Abhandlung: Notiz über die Einrichtung eines Normalbarometers" (in den naturwissenschaftlichen Abhandlungen in Würtemberg 1826 und im Auszuge Pogg. Ann. 7, S. 379) zuerst die Depressionserscheinungen recht gründlich beim Barometer studirt und sie mit den Untersuchungen von La Place verglichen zu haben. Wir haben sie an den betreffenden Stellen benutzt. — Romershausen hat in seinem „Spiegelbarometer." Pogg. 4, S. 331 eine, wenn auch ältere, so doch genaue Methode angegeben, nach welcher Barometeröhren gut ausgekocht und dann zu einem Barometer verwendet werden. Auch seiner ist schon früher bei den Methoden, nach welchen das Auskochen geschieht, gedacht worden.

§. 25.

Beobachtungen am Barometer von Heinrich Buff in Cassel und Victor Pierre.

Buff macht Pogg. Annalen 31, S. 266 nochmals darauf aufmerksam, daß in einem sonst gut gearbeiteten Barometer doch niemals das Quecksilber in dem einen Schenkel genau so viel steigt, als es im andern bei verändertem Luftdrucke fällt. Allerdings trägt auch die Temperatur dazu bei, — die an die Oberfläche des offenen Schenkels in anderer Weise als an die des verschlossenen tritt, — eine verschiedene Verdichtung des Quecksilbers herbeizuführen. Wir wollen hier nicht wei-

ter auf die Versuche Buff's eingehen, sondern, indem wir auf die Quelle verweisen, das Resultat mittheilen:

Länge des kurzen Schenkels in Linien bei 0°	Zuwachs der Länge des kurzen Schenkels in Linien ausgedrückt bei											
	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
36	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16
38	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19	0,21
40	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25

Zur Erklärung diene noch Folgendes. Buff fand in einer gewissen Zeit bei 8° Temperatur den Barometerstand 834,62''' und auf 0° reducirt 334,20'''. Hierauf sollen die folgenden Messungen bezogen werden. — Ergiebt sich nun bei 7,4° das Niveau des kurzen Schenkels um 0,54 Linien unter dem Nullpunkte der Scale, so daß das obere Niveau um ebenso viel gestiegen sein soll, so ist der Barometerstand bei

0° = 334,20''' + 2 · 0,54 = 335,28'''. —

Angenommen, man habe den Werth von 0,54''' nicht bei 7,4° sondern bei 15° gefunden, so ist klar, daß er bei 8° (die Grundlage der Temperatur bei diesen Messungen) um soviel größer sein würde, als sich der kurze Schenkel durch eine Temperaturerniedrigung von 7° zusammenzuziehen vermag Bei der Länge des kurzen Schenkels von 4 Zoll (48 Linien in der Tabelle) würde es 0,05 Linien sein um also den wahren Barometerstand zu erhalten, muß man 2 · 0,54 + 0,05 oder 2 · 0,59 zu 334,20''' addiren u. s. w. Diese Verbesserungen sind an Gay-Lussac's Reisebarometer anzubringen. — Aehnliche Notizen hat V. Pierre in den Wiener Acad. Berichten October 1850, S. 281 gemacht, auf die wir hier nicht weiter eingehen können. —

§. 26.

Bunten's Barometer.

Bunten hat eine wesentliche Verbesserung des Gay-Lussac'schen Barometers angegeben, die darin besteht, daß die allmälig durch das poröse Quecksilber dringende Luft nicht ohne weiteres bis in das Vacuum gelangen und, dann dort auf den Barometerstand schädlich einwirken kann, sondern vorher aufgehalten wird. — Bunten läßt daher den geschlossenen Theil des Barometers S (Taf. X, Fig. 5) in eine feine Spitze s münden, und schmilzt ein weiteres Rohr so um die ausgezogene Spitze s, daß es diese von der Stelle an, wo die Zusammenziehung beginnt, umgiebt. Dieses weitere Rohr wird dann umgebogen und bleibt nicht ganz offen, sondern erhält nur eine kleine Oeffnung bei o dadurch, daß man die Röhre anwärmt und ein kleines Loch hineinstößt. — Dringt nun die Luft durch o in den gebogenen Theil und in das Quecksilber ein, so sammelt sie sich bei A in der erweiterten Röhre an, gelangt also nicht durch s weiter hinein. Neigt man nun das Barometer, bis es an das Ende der geschlossenen Röhre anschlägt, und hängt es dann wieder gerade, so bedarf es keines weiteren Verschlusses.

§. 27.

Greiner's Barometer.

Greiner jun. in Berlin hat seine Aufmerksamkeit besonders auf den Verschluß beim transportabelen Barometer gewendet und eine Einrichtung bekannt gemacht, durch welche die Luft nicht im Stande ist bei der Zusammenziehung des Quecksilbers weit in die Röhre hineinzudringen und dann Ungenauigkeiten in Bezug auf die Ablesung des Höhenstandes hervorzurufen. Es er-

innert die Einrichtung an die von Lefranc §. 8. Der längere Schenkel des Barometers (Taf. X, Fig. 6) bildet einen Hohlkegel K, da wo er mit dem kürzeren E, der eine ellipsoidische Form hat, zusammentrifft und mit ihm zusammengeschmolzen ist. Die Oeffnung bei K beträgt etwa nur 1 Linie und das Quecksilber bewegt sich frei durch diese Öffnung nach beiden Richtungen hin, nach unten und oben. Zum Verschluß des Barometers, der an dem Ende des Ellipsoides, (das etwa nur 1 bis $1\frac{1}{2}$ Loth Quecksilber enthält) sich befindet, dient ein Kork k, durch den eine offene Thermometerröhre r geht, deren an mehreren Stellen erweiterte Scale nur $\frac{1}{2}$ Linie beträgt. Durch diese wirkt die Luft auf das Quecksilber und gestattet diesem nicht etwa zwischen Kork und Röhre zu treten und läßt selbst bei hoher Temperatur keine Luft hindurch. — Die Verbindung der Messingscale mit der Röhre ist ganz frei.

§. 28.

Barometer von Davout.

Vergleiche: **Davout. Mémoire sur un nouveau baromètre Compt. rend. 44, p. 658 — 661.**

Babinet. Note sur des Observations comparatives faites avec le baromètre répétiteur de M. Davout. Compt. rend. 45, p. 77.

Davout. Mémoire sur des expériences faites dans les Alpes avec le baromètre répétiteur. Compt. rend. 45, p. 580.

Davout hat ein Barometer construirt, dem er folgende Einrichtung gegeben hat. Eine Glasröhre, die graduirt ist und eine sehr kleine Quecksilbersäule enthält, ist an ihren beiden Enden durch Kautschukventile, die je nach Belieben geöffnet und durch ihre Elasticität wieder in die Ruhelage gebracht werden können, geschlossen. Durch abwechselndes Oeffnen und Schließen der beiden Röhrenenden kann man die Quecksilbersäule in der senkrecht gehaltenen Röhre fast ganz an das untere Ende

bringen. Es hängt nun nach den Untersuchungen Davouts diese Verschiebung der Quecksilbersäule von dem bestehenden Luftdruck ab, so daß man ihn nach den von Davout entworfenen Tabellen und der Anzahl der Verschiebungen genau jedesmal ermitteln kann. Indem wir auf die betreffenden Quellen verweisen, bemerken wir nur, daß Babinet mit diesem, von Davout baromètre répétiteur (Repetitionsbarometer) benannten, Instrumente Messungen angestellt hat, die, mit einem genauen Gay-Lussac'schen Barometer verglichen, fast übereinstimmende, oft nur 0,4mm von einander abweichende Resultate lieferten.

Erwähnt seien hier noch zunächst:

Troussart: Nouveau baromètre à siphon 1857 in Cosmos. XI. pag. 359—362.

A. Quetelet: Plan et déscription des instruments de l'observatoire Royal de Bruxelles in Annuaire de l'observatoire de Brux. XI. 3 pag. 1—48.

Schriften, die Modificationen der Barometer enthalten.

§. 29.

Barometer von Meyerstein.

Pogg. Annalen. 46. pag. 620.

Meyerstein hat die Aufgabe, den Höhenunterschied der beiden Quecksilber-Oberflächen mit möglichster Genauigkeit zu messen, durch folgende Einrichtung gelöst:

Die Beugung der Röhre ist so, daß der kurze Schenkel A mit dem langen B in eine gerade Linie fällt. Auf den unteren Schenkel sowohl, als auf den oberen, ist mit dem Diamant ein Strich gezogen und der Abstand beider Striche mikroskopisch gemessen. (Bei M.'s Barometer beträgt die Differenz 650mm.) Auf einem jeden dieser Schenkel läßt sich ein Messingrohr von 190mm Länge verschieben, welches nach vorn durchsichtig und

facettirt ist. Taf. XI, Fig. 1 a und b. Die Facette dieser Messingröhre ist in halbe Millimeter, und zwar à bout getheilt. Der Gebrauch des Instrumentes ist nun wohl einleuchtend. Sobald nämlich das Barometer vertical hängt, schiebt man die Röhre a auf den langen Schenkel, so daß der höchste Punkt der Quecksilberfläche in derselben Ebene liegt, welche durch den vorderen Rand der Messingröhre nach derselben gelegt werden kann. — Ein Gleiches findet mit der unteren Röhre b statt. Man braucht jetzt nur nachzusehen, welcher Strich der Theilung auf der Messingröhre mit dem auf beiden Schenkeln der Glasröhre gezogenen am nächsten zusammenfällt; alsdann findet sich der wahre Abstand beider Oberflächen, indem man diese Theile zu der gegebenen Länge (650^{mm}) addirt oder davon abzieht.

Um dieses Instrument für Reisen einzurichten, fand M. nichts weiter nöthig, als einen Verschluß anzubringen, der auch bei verschiedenen Temperaturen zuverlässig ist. M. hat hierüber viele Versuche gemacht und der von nachstehender Beschreibung zeigte sich sehr zweckmäßig.

Auf den kurzen Schenkel, Taf. XI. Fig. 2, ist eine Stahlhülse c gekittet, welche bis zur Hälfte mit Schraubengängen versehen ist. Hierüber schraubt sich eine zweite Hülse D. Im Innern von D ist ein beweglicher Boden d, welcher vermittelst der zwei Schrauben m m in den länglichen Löchern n (wie Fig. 1 zeigt) seine Führung hat. Zwischen dem Deckel der Hülse D und dem beweglichen Boden d ist eine Spirale. Will man nun das Barometer verschließen, so läßt man, wie gewöhnlich, das Quecksilber gegen die obere Kuppe des Rohres treten und schiebt, nachdem man die Hülse D abgeschraubt hat, den Embolus in den kurzen Schenkel, bis er gegen die Quecksilberfläche drückt. Die Embolusstange muß nun so lang sein, daß wenn die Hülse D wieder auf C geschraubt wird, diese den Boden d berührt. Schraubt man nun D noch tiefer, so wird d hinaufgetrieben und die Spirale erhält eine Spannung. Es hängt demnach von der Stärke der Feder ab, um den Embolus herab-

steigen oder hinaufsteigen zu lassen, sobald die Temperatur des Quecksilbers sich ändert.

M. hat dieses Barometer mit einem so zierlichen Kasten, wie nur möglich war, damit der Transport dem Reisenden Bequemlichkeit gewährt, versehen, und im Innern des Kastens eine Glashülse, mit Quecksilber gefüllt, befestigt, in welche ein Thermometer taucht, um die Temperatur des Quecksilbers zu kennen, welche von der des Quecksilbers in der Barometerröhre wohl nicht verschieden ist.

§. 30.

Barometer von Kupffer, Pistor und Schiek, C. Brunner, G. Breithaupt und Roxburgh.

Wir erwähnen, anknüpfend an die früher erwähnten Barometer, ohne näher auf die Construction einzugehen, die Barometer von Kupffer (Pogg. Annal. 26, pag. 446), von Pistor und Schiek, die seit 1827 weit und breit sich ihrer ausgezeichneten Construction wegen einer Aufnahme erfreuten und in Pogg. Ann. Bd. 26, pag. 451, von Poggendorf beschrieben sind. Das Volumenbarometer von C. Brunner in Bern finden wir Pogg. Ann. Bd. 34, pag. 30, beschrieben, und die Construction eines vervollkommneten Höhenmeß-Barometers von G. Breithaupt in Cassel, Pogg. Ann. Bd. 34, pag. 41, veröffentlicht, das indeß nicht gerade neu zu nennen ist in Bezug auf die ausgezeichneten Verbesserungen der Barometer Pistor's. Das Cartesianische Barometer, welches ursprünglich Huygens (siehe Barometer §. 1. Nr. 11) die Entstehung verdankt und auf der Quecksilbersäule noch eine Wassersäule trägt, ist durch Roxburgh (Phil. Mag. [4.] VII. 410.) dadurch verbessert, daß er sich statt des Wassers einer Chlorcalcium-Lösung bedient, die eine äußerst schwache Dampfspannung besitzt und auch die Quecksilberoberfläche nicht angreift.

§. 31.

Barometer von Bursill.

Mechanic Magazine, Juli 1841, pag. 82; im Auszuge Dingler's polytechn. Journal, Bd. 83.

Bei Bursill's Normal-Heberbarometer, Fig. 3, Taf. XI, ist die Röhre so eingerichtet, daß jede in Folge des Temperaturwechsels stattfindende Ausdehnung oder Contraction des Quecksilbers immer nur in dem längeren Arme vor sich geht, während der Quecksilberstand in dem kürzeren Arme vollkommen ungeändert bleibt, ausgenommen durch Veränderung des Druckes. Taucht man demnach das Instrument in heißes Wasser, so macht sich sehr bald ein bedeutendes Steigen des Quecksilbers in dem langen Arme bemerklich; eine Veränderung des Niveau's in dem kurzen Arme kann jedoch selbst mit Hülfe eines Vergrößerungsglases nicht wahrgenommen werden.

In dem Durchschnitte Fig. 4, Taf. XI, bemerkt man zwei Messingstangen, an deren untere Enden eine fein gezahnte Stange befestigt ist. Diese Zahnstangen werden durch ein kleines, zwischen denselben angeordnetes Zahnrad in Thätigkeit gesetzt; eine in einer festen Hülse spielende Schraube dient zur Einleitung dieser Bewegung. Die Einrichtung ist so getroffen, daß, während die eine Stange in die Höhe geht, die andere Stange in gleichem Maße niedersteigt. Eine dieser Stangen ist in Zolle graduirt und bildet die Scale; an die andere ist ein kleiner Pfeil befestigt, welcher einen Vernier trägt und genau nach der Höhe der Quecksilbersäule bei 32° Fahrenheit (0° R.) adjustirt ist.

Beim Gebrauch des Instrumentes braucht man nur mit Hülfe der unten befindlichen Schraube die Pfeilspitze oder den Nullpunkt der graduirten Scale nach der Höhe des Quecksilbers in dem kurzen Arme zu stellen, worauf der oben erwähnte, an der andern Stange befestigte Pfeil mit seinem Vernier die wahre, nach der Temperatur cor-

rigirte Höhe der Quecksilbersäule angeben wird. Zeigt sich nun über dem Pfeile Quecksilber, so rührt dies von der Ausdehnung her, wird dagegen unter demselben ein leerer Raum bemerkbar, so ist dieser der Zusammenziehung des Quecksilbers zuzuschreiben.

Auf solche Weise findet man den wahren Druck der Atmosphäre beinahe in einem Augenblicke, ohne arithmetische Rechnung oder Beziehung auf tabellarische Formeln; denn bei diesem Barometer ist es nicht nöthig, auf die Expansion der messingenen Scale Rücksicht zu nehmen, indem bei Anwendung zweier Stangen eine die andere corrigirt. Auch die sonst übliche Correction hinsichtlich der Capillarattraction ist unnöthig; denn bei dem Heberbarometer, wo beide Röhrenenden gleichen Durchmesser besitzen, gleicht sich der Einfluß der Capillarität in beiden Röhren aus und der Einfluß der Depression verliert sich ganz und gar.

Bursill's Compensations-Gefäßbarometer vereinigt alle Vortheile der besten seither construirten Barometer, mit Ausnahme des so eben beschriebenen Normal-Heberbarometers, da hinsichtlich der Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers keine Correction an demselben angebracht ist.

Der große Vortheil besteht darin, daß das Quecksilber durch eine einfache selbstthätige Vorrichtung beständig auf einerlei Höhe in dem Gefäß erhalten wird, wie sehr auch die Quecksilbersäule in der Barometerröhre steigen oder fallen möge.

Bei gewöhnlichen Barometern ist die Barometerscale von dem Niveau des Quecksilbers in dem Gefäß an in Zollen graduirt, und die erste Veränderung, welche, nachdem das Instrument fertig ist, im atmosphärischen Drucke stattfindet, bringt auch eine Aenderung in diesem Niveau hervor. Man hat sich mehrfach bemüht, diese Schwierigkeit zu beseitigen, aber alle seitherigen Versuche dieser Art waren mit gewissen Unannehmlichkeiten verknüpft.

Bei dem patentirten Compensations-Gefäßbarometer wird der fragliche Zweck ganz einfach dadurch erreicht, daß man das untere Ende der Barometerröhre unter einem rechten Winkel abbiegt und darauf in die Spiralform dreht. Dabei zeigt sich die Cohäsion des Quecksilbers so groß, daß sie jedes Eindringen der atmosphärischen Luft auf eine wirksame Weise absperrt. Auf diese Weise wird anstatt der seitherigen senkrechten Bewegung des Quecksilbers eine horizontale hervorgebracht. Das Instrument ist ausnehmend leicht und tragbar, weil die Quantität des dazu verwendeten Quecksilbers sehr gering ist, und der Barometer ohne Gefahr des Verschüttens sogar umgekehrt werden kann, obgleich das Ende des Gefäßes ganz offen ist.

Die in Rede stehenden Instrumente eignen sich insbesondere für die Zwecke der Marine, weil sie keiner Adjustirung bedürfen, indem die Anwendung eines Normalpunktes zur See nicht so practicabel ist, als zu Lande, ausgenommen bei Windstillen. Auch der Normal-Heberbarometer läßt sich zur See anwenden, indem zur Beseitigung des Einflusses der Oscillation Vorkehrungen getroffen sind. Auch Barometer für Bergreisen werden nach demselben Princip verfertigt.

§. 32.

Barometer von Harri.

Mechanic Magazine, Juni 1851, Nr. 509, und Dingler, polytechn. Journal, 125.

Harri's tragbarer Barometer ist patentirt worden seiner guten Einrichtung wegen, da er horizontal, vertikal, ja sogar umgekehrt getragen werden kann und der Temperaturwechsel wenig einwirkt.

Fig. 5, Taf. XI, stellt einen in dem bezeichneten Sinne construirten Barometer in der Frontansicht, Fig. 6 die Glasröhre im Durchschnitte dar. Die Röhre A, A

hat ungefähr $\frac{1}{16}$ Zoll inneren Durchmesser und ist so gebogen, daß ihre beiden Schenkel L und R parallel sind. An dem einen Ende läuft sie in eine kurzhalsige, gegen die Atmosphäre beständig offene Kugel oder Blase B, an dem andern Ende in eine Blase C aus, welche nur während der Adjustirung des Instrumentes auf kurze Zeit geöffnet, nachher aber für immer geschlossen wird. D ist ein kleiner, die Fortsetzung der Hauptröhre bildender Röhrenansatz, welcher sich ungefähr bis in die Mitte der Blase B hinauf erstreckt. Durch den Hals a wird, während C geschlossen ist, möglichst reines Quecksilber in die Blase B gegossen, bis seine Oberfläche hinreichend über der Mündung von D steht, um die atmosphärische Luft abzusperren, ohne daß jedoch die kleine Quecksilbersäule über dieser Mündung schwer genug wäre, um in die Röhre hinabzugleiten. Hierauf wird bei b in den Boden der Blase C eine Oeffnung gemacht, und durch diese Oeffnung Kohlenoxydgas in die Blase gepreßt, bis alle in ihr und in den Schenkeln der Röhre befindliche atmosphärische Luft durch das kurze Röhrenstück D ausgetrieben ist. Sodann wird die Oeffnung b hermetisch verschlossen und noch mehr Quecksilber durch den Hals a zugegossen, bis die Zusammendrückung des Gases in dem oberen Theile des Schenkels R und der Blase C bei der gewöhnlichen Temperatur der Atmosphäre so stark ist, daß das Quecksilber in dem kürzeren Schenkel bei G steht. Sollte es sich zeigen, daß in dem Schenkel R und in der Blase C zu viel Gas enthalten ist, um das Quecksilber vermöge seiner Compression bis zu dem Punkte G steigen zu lassen, so muß man die Blase wieder öffnen und eine Portion Gas entweichen lassen. Ein mit Leder umwickelter Stöpsel aus Meerrohr wird sodann in den Hals a gesteckt. Die Poren des Meerrohrs bleiben übrigens oben offen, damit die atmosphärische Luft frei in die Blase B eindringen kann. Nachdem die Barometerröhre A, A mit ihren Blasen auf diese Weise gefüllt und adjustirt worden ist, so kommt sie mit einem Normalbarometer K unter den Recipien-

ten einer Luftpumpe, welche zum Ausziehen und Verdichten der Luft eingerichtet ist. Indem man nun entweder durch Auspumpen oder Verdichten der Luft des Recipienten die Barometerröhre verschiedenen Graden des Luftdruckes aussetzt, erhält man eine der Zollscale des Normalbarometers entsprechende Druckscale H, nur daß die Abtheilungen der letzteren kleiner sind, weil der barometrischen Wirkung der Atmosphäre auf die Oberfläche des Quecksilbers in der Blase B der Widerstand des Gases in der Blase C entgegenwirkt. Um nun die so erlangte Scale anzuwenden, muß eine andere Scale I gebildet werden, welche die Ausdehnung oder Zusammenziehung des Gases in dem Schenkel R und der Blase C in Folge der Zu- oder Abnahme der Temperatur mißt. Zur Erlangung dieser Scale wird die Barometerröhre A, A in ähnlicher Weise wie die Scale eines gewöhnlichen Thermometers eingetheilt, d. h. sie wird neben einem Normalthermometer den verschiedenen Temperaturgraden ausgesetzt. Nachdem auf diese Weise die Hauptpunkte oder die beiden dem Normalthermometer entsprechenden äußersten Punkte auf der Röhre markirt worden sind, so befestigt man die Röhre an die Platte, bringt den Raum zwischen den Punkten der Röhre auf die letztere und theilt sie dann in die geeignete Anzahl von Graden, wie Fig. 5, Taf. XI zeigt.

Die Barometerscale H wird nicht permanent an das Gestell befestigt, sondern sie läßt sich mit ihrem graduirten Rande an der Seite der Röhre auf- und niederschieben und enthält oben einen Zeiger N, dessen Länge auf folgende Weise bestimmt wird. Man stellt das Instrument neben einen Normalbarometer, bringt die Eintheilung der verschiebbaren Scale H, welche derjenigen des Normalbarometers entspricht, die den wahren Barometerstand angiebt, mit dem Niveau des Quecksilbers im Schenkel R in eine Linie, und den adjustirbaren Zeiger unmittelbar über denjenigen Grad der festen Scale I, welcher dem durch den Normalthermometer K angezeigten Temperaturgrad entspricht, und fixirt ihn in dieser Lage.

Das Instrument ist jetzt in gebrauchsfähigem Zustande. Um nun den Druck der Atmosphäre zu ermitteln, wird der Zeiger N unmittelbar über denjenigen Grad der festen Scale I gebracht, welcher dem durch den Normalthermometer K angezeigten Grad entspricht, worauf die dem Quecksilberniveau in der Röhre gegenüberliegende Eintheilung auf der verschiebbaren Scale H die Höhe der Quecksilbersäule angiebt, welche der Druck der Atmosphäre in diesem Zeitpunkte zu tragen hat. Zur Verdrängung der atmosphärischen Luft aus den Schenkeln und den Blasen der Barometerröhre zieht man Kohlenoxydgas vor, wiewohl jede andere Gasart, welche keine Verwandtschaft zum Quecksilber hat, dem Zwecke ebenfalls entspricht. Die Verlängerung D hat den Zweck, zu verhüten, daß beim Umkehren des Instrumentes die in der Blase B enthaltene Luft die Röhre L hinabgleite.

C. Registerbarometer.

Von den verschiedenen Constructionen der Heberbarometer zu Registerinstrumenten nennen wir hier folgende:

Changeux: Journal de Physique. Tom. 16, pag. 325.

Krecke: Description de l'observatoire météorologique et magnetique à Utrecht 1849.

Brooke et **Ronalds** in Report of the british Association for 1846: selfregistering Barometer.

Schultze in Poggendorff, Bd. 76, pag. 604.

Von den angeführten besprechen wir das letztere genauer und folgen der angegebenen Quelle.

§. 33.

Selbstregistrirendes Barometer von G. A. Schultze.

Das ganze Instrument ist in Fig. 3, Taf. XIII, dargestellt. Es besteht aus einer Barometerröhre, deren

oberer und unterer Schenkel a b aus einer 16^{mm} weiten Röhre gebildet ist, wogegen die Verbindungsröhre c beiläufig 8^{mm} weit und mit einer Sicherheitsröhre versehen ist, um zu verhüten, daß Luftbläschen, im Fall solche beim Transportiren eindringen, nicht in den oberen Schenkel a hinaufsteigen können. Auf dem Quecksilber im Schenkel b ruht ein Schwimmer e, dessen kleinere Hälfte des Gewichts, innerhalb des Quecksilbers, die größere aber sich oberhalb desselben befindet, um den Schwerpunkt des ganzen Gewichts möglichst nahe der Oberfläche des Quecksilbers zu bringen. Der Schwimmer e steht durch den Faden d mit der Rolle f in Verbindung, an deren Axe sich der Zeiger g befindet, durch welchen die Veränderungen des Barometerstandes sich in vergrößertem Maße bemerkbar machen. Am Zeiger g ist bei h ein Bleistift befestigt, mittelst dessen die Beobachtungen, in Form länglicher Punkte, sich auf der Scale verzeichnen. Das Zeichnen der Punkte geschieht durch den Hebel i, welcher durch die Uhr k alle fünf Minuten gegen das Blei gedrückt wird, und dieses wiederum gegen die Scale drückt.

Da die Aenderungen im Barometer nach rechts und links geschehen, so sind die Linien durch vertical laufende Striche auf der Scale bemerkt, wogegen die horizontalen bogenförmigen Striche die einzelnen Stunden bezeichnen. Die Platte l, worauf die Papierscale durch die mit 1 — 8 bezeichneten Federn festgehalten wird, bewegt sich innerhalb 24 Stunden vermittelst der Uhr von oben nach unten, wodurch innerhalb 1 Stunde 12 Beobachtungen aufgezeichnet werden. Es wird demnach leicht sein, sich von den Barometerständen eines Tages, welche in Zwischenräumen von 5 Minuten stattfanden, genau zu überzeugen. Auf der Scale Fig. 3 ist eine im November 1848 mit dem Instrument gemachte Beobachtung bemerkt.

Es ist von größter Wichtigkeit, von jeder Barometer-Beobachtung die gewesene Temperatur zu wissen, um die Beobachtung auf 0° reduciren zu können; um die-

ses zu vermeiden, ist an dem Instrument die Vorrichtung getroffen, daß jede Beobachtung so gezeichnet wird, als ob solche bei einer Temperatur von 0° geschehen wäre.

Diese Vorrichtung besteht darin, daß die Rolle f, worüber der Faden d geht, aus zwei sich verschieden ausdehnenden Metallen besteht; sie ist aus doppelten Gründen höchst nothwendig, 1) um die Correction der Temperatur vermeiden zu können, 2) weil der Einfluß der Temperatur bei dem Instrumente im entgegengesetzten Sinne wirken würde, als bei einem gewöhnlichen Barometer; denn bei Beobachtungen mittels gewöhnlicher Barometer ist der Stand um x Theile zu hoch, wenn die Beobachtung bei erhöhter Temperatur geschah; bei diesem Instrument wird durch die Ausdehnung des Quecksilbers der Schwimmer gehoben und dadurch ein niederer Stand gezeichnet werden. Da nun aber die Rolle aus zwei Metallen besteht, so ist die Einrichtung der Art getroffen, daß durch die Temperatur die Rolle genau um so viel größer, als der Schwimmer durch das Erheben des Quecksilbers vermittelst der Einwirkung der Temperatur, hinaufgedrückt wird.

Das Instrument kann auch noch der Art verändert werden, daß das im Instrument stehende Rohr zugleich als Normal-Barometer verwendet wird; es braucht das Ganze nur mit der hierzu nöthigen Fassung versehen zu werden, wodurch noch der Vortheil erwächst, daß man in Verbindung mit dem Instrument zugleich ein Normal-Barometer besitzt. Bei der großen Ausdehnung jeder einzelnen Linie ist es nicht möglich, der Platte l eine solche Breite zu geben, daß alle Aenderungen des Barometerstandes darauf verzeichnet werden können, weshalb es nöthig ist, ein Normal-Barometer nebenbei oder in Verbindung mit dem Instrument zu besitzen, um es vor der zu machenden Beobachtung durch die Schraube m einstellen zu können.

§. 34.

Differentialbarometer von Jelinek, Barometerpendel von Rankine, Maximumbarometer von S. Stevenson.

Wir erwähnen hier noch eine ausführliche Arbeit von Jelinek, in der Beilage zum Novemberheft 1850 der Wiener Acad. Berichte, die über die Construction selbstregistrirender meteorologischer Apparate handelt. Auch Rankine im Phil. Magaz. [4]. VI. 432. und im Auszuge Inst. 1854, 34, hat ein mit einem Pendel verbundenes Barometer zur Registrirung des Barometerstandes vorgeschlagen. Wir müssen hier im Uebrigen auf die Abhandlung selbst verweisen und wollen hier nur die Endresultate angeben.

Bezeichnet γ_0 den Abstand des Schwerpunktes vom Aufhängepunkt, λ_0 die entsprechende einfache Pendellänge, F_0 den Abstand des Aufhängepunktes vom tiefsten Punkt der Axenlinie der Heberröhre, L_0 die ganze Länge der Quecksilbersäule in beiden Schenkeln, in der Axenlinie gemessen, H_0 den Unterschied der Längen in beiden Schenkeln, h_0 endlich die ganze Länge einer Quecksilbersäule von dem Querschnitt der Heberröhre, die gleich dem Gewicht des ganzen Pendels ist, so ist die Abweichung des Quadrates der schiefen Barometerhöhe (d. h. H_0 der Unterschied der Längen in den Schenkeln) durch folgende Gleichung mit der Abweichung von der mittleren Länge des einfachen Pendels verbunden:

$$\Delta H_0^2 = \frac{4 L_0 \gamma_0 \Delta \lambda}{\lambda_0 + \Delta \lambda - 2 F_0 + L_0} \quad (1).$$

Hat nun das Pendel im normalen Zustande n_0 Umläufe in einer gegebenen Zeit, in der Wirklichkeit jedoch $n_0 + \Delta n$ Umläufe, so ist:

$$\Delta \lambda = 2 \frac{\lambda_0}{n_0} \Delta n \quad (2).$$

Hat man nun aus (1) und (2) den Werth für $\triangle H^2$ berechnet, so findet man das Mittel der Quadrate der schiefen Barometerhöhen während der Periode der Registrirung: $M(H^2) = H_0^2 + \triangle H^2$, so daß die Quadratwurzel aus der rechten Seite als erste Annäherung an den mittleren Werth der schiefen Barometerhöhe gelten kann. Wenn M (h) das Mittel bezeichnet der auf- und abwärtsgehenden Schwankungen gegen jenes erste genäherte Mittel, welche Schwankungen mit einem andern Instrumente gemessen sind, so erhält man als zweite Näherung $M(H) = \sqrt{M(H^2) - \frac{1}{2} M(h^2)}$ und dieser Werth ist noch wegen der Schiefe und auch wegen der Centrifugalkraft zu corrigiren. Ist α der Winkel des Pendels mit der Verticalen und T die mittlere Zeit eines Umschwunges, so ist:

$$M(H^1) = M(H) \left[\cos\alpha + \frac{2\pi^2 \sin^2\alpha}{g F^2} (2F - L)\right]. —$$

Stevenson endlich hat in Edinbourgh Journal [2] V. p. 813—316 unter dem Titel: Description of a self-registering maximum and minimum arrangement for the syphon barometer ein Instrument seiner Construction beschrieben, bei welchem die höchsten und niedrigsten Barometerstände durch feste, außerhalb der Röhre angebrachte, Magnete und durch schwimmende, auf den Oberflächen der Quecksilbersäule befindliche Magnetstreifen (hooks of watch-spring, or of softiron) registrirt werden. Da diese Construction sich noch bewähren muß, gehen wir nicht weiter darauf ein. —

D. Differentialbarometer.

Wir verweisen auf die ältern Constructionen von August in Poggendorff's Ann., Bd. 3, S. 321 und von Wollaston in Philosophical Transaction for 1829, im Auszuge Poggendorff's Ann., Bd. 16, S. 618 und erwähnen hier nur aus Pogg. Ann., Bd. 40, S. 62.

§. 35.

Differentialbarometer von H. Kopp.

Eine der wichtigsten Anwendungen des Barometers ist die zum Höhenmessen. Jedoch sind die Barometer von gewöhnlicher Länge, ungeachtet der sinnreichen Angaben von Fortin, Loos, Horner u. A. bei dem Transport auf steilen und felsigen Gebirgen mehr oder weniger leicht dem Zerbrechen unterworfen, weil die Glasröhre, wegen ihrer Länge und des großen Gewichtes des Quecksilbers, bei einigermaßen starken Stößen, die sich nie vermeiden lassen, zerschellt wird. Man suchte deshalb auf andere Art und mit weniger zerbrechlichen Instrumenten Höhen zu messen; Wollaston construirte sein barometrisches Thermometer nach dem Principe des niedrigeren Siedepuncts des Wassers bei niedrigerem Barometerstand; Adie sein Sympiezometer, wonach ein oben offenes Luftthermometer bei verschiedenem Luftdruck und gleicher Temperatur verschiedene Grade zeigt, und noch andere Apparate wurden angegeben, die aber alle theils den Nachtheil der Unsicherheit bei der Ausübung, theils die Unbequemlichkeit mühsamer Correctionen und Rechnungen hatten; weshalb einige gar nicht in Gebrauch kamen. Endlich gab August sein Differentialbarometer in Pogg. Ann., Bd. 3, S. 329, an, das nachher noch durch Horner und Parrot verbessert wurde. Es gründet sich bekanntlich darauf, daß eine gleiche Quantität Luft stets gleich stark hinsichtlich des Volumens zusammengedrückt, bei verschiedenen Dichtigkeiten verschieden hohe Quecksilbersäulen zu tragen im Stande ist. So sicher und einfach das Princip ist, so werden doch Alle, die mit dem oben erwähnten Instrument operirt haben, zugestehen, daß, bei unverändertem Barometerstand, bei wiederholten Beobachtungen sich bedeutende Differenzen ergeben. Der Grund hiervon liegt vorzüglich darin, daß man das Auge in eine verlängerte Ebene, und eine Queck-

silbersäule, die eine gewisse Quantität Luft zusammendrückt, bis in diese Ebene bringen muß, wobei sich Fehler ergeben müssen, da man bei Visiren Parallaxen nicht wohl vermeiden kann, und dadurch verschiedene Höhen der eingepreßten Quecksilbersäule, somit verschieden starke Compressionen und bedeutende Differenzen herbeigeführt werden. Endlich entstehen Fehler auch noch leicht dadurch, daß man die Beobachtungen nicht schnell genug einander folgen lassen kann, da man jedesmal, vermittelst einer Schraube, den Embolus durch einen verhältnißmäßig großen Raum hindurch bewegen muß, obgleich die Temperaturveränderungen, die das Instrument durch das Annähern des Gesichts erleidet, und wobei es als Luftthermometer wirkt und so Fehler verursacht, schnelle Beobachtungen nöthig machte. K. suchte deshalb ein Differentialbarometer auf solches Princip zu construiren, das die eben angeführten Mängel nicht hat und zugleich einfacher ist, und erhielt als Resultat folgendes Instrument:

Auf einem Täfelchen ABCD (Taf. XIII, Fig. 4), 12 Zoll hoch und 1,5 Zoll breit, ist eine Glasröhre aa, bb, cc, dd durch oo und pp unbeweglich befestigt. Diese hat 3 Linien im Durchmesser, ist bei bb, 4 Zoll von aa umgebogen und bei cc, 2 Zoll von bb zu einer Kugel erweitert, in deren Hals ein Kork eingekittet ist. In diesem steckt eine Glasröhre ef vorerst aber luftdicht, noch auf und nieder bewegbar; sie ist aus dünnem Glase, 10 bis 11 Zoll lang, nach e hin etwas ausgezogen, und oben und unten offen. Ihr Durchmesser ist 1 Linie. Um diese Röhre ist ein Stahl- und Platindraht gewickelt und mit etwas Siegellack befestigt, der frei bis g herabsteht, so daß der Raum von g bis e ungefähr ein Viertheil des ganzen Raums von d bis e ist. Dieser Draht ist nach unten zugespitzt und geschwärzt. In der Röhre aa bis bb ist ein Kolben m an einem Kolbenstängelchen, für geringen Druck quecksilberdicht, beweglich.

Dies wäre der Apparat bis auf die Scale; sie wird auf folgende Art bestimmt: Ehe man den Kork, worin

die Röhre e f steckt, in den Hals der Kugel einkittet, mißt man von einer durch die Spitze des Drahtes g auf dieser Röhre senkrechten Linie genau 3 Zoll auf derselben ab und bezeichnet diesen Punkt. Er heiße s. Dann kittet man den Kork ein und füllt die Röhre a b c mit so viel Quecksilber, daß es sie (wie in der Figur) von dem Kolben bis etwa 2 Linien unter e ausfüllt, steckt den Kolben hinein und bringt durch Umkehren die Luft zwischen ihm und dem Quecksilber weg. Nun drückt man dies vermittelst des Kolbens in den Raum c d und verdichtet so die darin enthaltene Luft, so wird das Quecksilber in die Steigröhre e f hinaufsteigen. Man drückt so lange, bis es in dieser 9 bis 10 (also von s an 6 bis 7) Zoll hoch steht, alsdann stellt man sie, da sie in dem Kork d luftdicht beweglich ist, um so viel höher oder niedriger, daß die Spitze des an ihr befestigten Drahtes g genau das Quecksilber berührt, zieht dann den Kolben wieder in die Höhe, so daß das Quecksilber unter e kommt, und wiederholt das eben angezeigte Verfahren, bis die Spitze des Drahtes g so steht, daß, wenn man das Quecksilber bis zur genauen Berührung mit ihr treibt, es in der Steigröhre von s an 6 bis 7 Zoll hoch steht. Jetzt macht man diese letztere in dem Kork, ohne sie zu verrücken, mit etwas aufgelöstem Schellack vollends luftdicht und unbeweglich, und bezeichnet s nun auf der Scale. Nun preßt man das Quecksilber wieder bis zur genauen Berührung mit dem Drahte g und bezeichnet den Punkt, bis zu dem es in der Steigröhre steigt, z. B. mit t, so hat man die Höhe der ganzen Quecksilbersäule, wenn man zu dem Abstand von s und t 3 Zoll hinzu addirt und vergleicht diese mit dem jedesmaligen Barometerstand. Aus dem Mittel mehrerer Beobachtungen findet man z. B. für einen Barometerstand von 338 Linien eine Quecksilbersäule von 111,5 Linien, also t 75,5 Linien von s, so gehört diesem t auf der Scale 338 Linien an. Da sich nun die Barometerveränderungen und folglich die Quecksilbersäulen an dem Normalbarometer wie die am Differentialbarometer erhalten, so können

wir setzen: 338 : 111,5 = x : 36, und finden für x 109,13 Linien. Bei s ist also auf der Scale 109,13 oder geradezu 109 Linien zu setzen, und der Raum von s bis t in 229 Theile, die Linien geben, zu theilen. Der Fehler, der durch die Weglassung von 0,13 Linien bei s entsteht, ist um so unbeträchtlicher, je höher der Barometerstand ist (bei einem Stand von 337 Linien wäre er 0,0007502 Linien) und dieser wird selten unter 190 Linien herabgehen, da diesem Stand eine Höhe von ungefähr 14000 Fuß entspricht, hierbei ist das Maximum des durch die Weglassung möglichen Fehlers 0,0038 Linien, was 10,65 Fuß ausmacht. Eben hieraus erhellt, daß auch ein kleiner Fehler bei dem Auftragen der 3 Zolle keinen merklichen Einfluß auf die Richtigkeit des ganzen Instruments hat.

Was die Handhabung des Instruments betrifft, so ist sie durch Vorstehendes schon gegeben. Das Quecksilber vermittelst der Kolbenstange, ohne daß noch Zahn und Getriebe oder eine Schraube nöthig wäre, in genaue Berührung mit dem Draht zu bringen, ist, besonders nach kurzer Uebung, leicht und genau auszuführen, da der Draht in dem Quecksilber ein Bild erzeugt, und bei dem geringsten Abstand noch ein Lichtstrahl durchfällt, bis Draht und Bild als eine Linie erscheinen. Wegen der convexen Oberfläche des Quecksilbers können Parallaxenfehler nicht leicht entstehen. Auch wird die Fehlergränze hierbei bedeutend dadurch vermindert, daß das Quecksilber in der Röhre nur wenig Luft im Verhältniß zu der in der weiteren Kugel eingeschlossenen aus seiner Stelle treibt. So wird man, vorausgesetzt, daß das Instrument stets senkrecht hängt, bei wiederholten Operationen keinen oder nur einen sehr unbedeutenden Unterschied erhalten; besonders differiren die Beobachtungen von der zweiten und dritten an fast gar nicht; die erste aber kann z. B. durch Temperaturveränderung unsicher sein. Ebenso können sich die Beobachtungen sehr schnell folgen, indem man nur jedesmal den Kolben so hoch

zieht, daß das Quecksilber unter dem Ende der Steigröhre steht.

Bei dem Transport wird der Kolben so gestellt, daß das untere Ende der Steigröhre von Quecksilber frei ist; dann schließt man ihr oberes mit einem gut und fest passenden Stöpselchen, und nun kann das Instrument, in ein Kästchen als Deckel so auf Stützen gelegt und befestigt, daß die Glasröhren nirgends anliegen, die heftigsten Stöße und alles Schütteln ohne Nachtheil ertragen. Zum Gebrauch wird der Stöpsel aus der Steigröhre weggenommen und durch Umkehren die Luft zwischen Kolben und Quecksilber weggeschafft. Ist die Steigröhre bei e fein genug ausgezogen, so wird schon dies das Eintreten des Quecksilbers hindern und den Stöpsel entbehrlich machen. Dann ist es gut, das Ende f mit etwas Taffet zu verschließen, der die Luft zwar durchläßt, aber Staub ꝛc. abhält.

Daß man das Instrument auch noch in anderen Dimensionen, als den obigen anfertigen kann, ist klar. Doch scheinen die angegebenen Verhältnisse deshalb die passendsten, weil die Theilung noch nicht zu fein und das Instrument doch von nicht großem Umfang ist. Macht man das Instrument viel kleiner oder viel größer, so wird der eine oder der andere Uebelstand eintreten.

§. 36.

Blondeau's Barometer.

Compt. rend. 46, p. 939 und Dingl. Journ. Bd. 149, S. 17.

Das Barometer C. Blondeau's gründet sich auf ein von Arago in der „Astronomie populaire“ angegebenes Princip. Es ist ein Doppelrohr-Heberbarometer, an dem beide Schenkel offen sind, der eine jedoch durch einen Hahn verschlossen wird. Es wird nun ein Luftvolum bei dem zu messenden Drucke bestimmt und dann

dieses Luftquantum auf das Doppelte des vorigen Volumens gebracht. Die Höhendifferenz der beiden Quecksilbersäulen im Barometer giebt dann unmittelbar die Größe des halben Atmosphärendruckes im betreffenden Zeitpunkte an. —

E. Maximum- und Minimum-Barometer.

Von diesen Barometern, die auch, wie das von Stevenson erwähnte, bisweilen Registrirapparate sind, führen wir nur Folgendes ausführlicher an:

§. 37.

G. Bischof's Maximum- und Minimum-Barometer.

Pogg. Ann., Bd. 60, S. 357.

Eine gewöhnliche Barometerröhre a b, Figur 1, Tafel XII, länger als 28 Zoll, ist in ein kugelförmiges Gefäß g luftdicht eingeschmolzen, und endigt sich in der Mitte desselben trichterförmig. An dem Gefäße ist eine zweite Barometerröhre c d angeblasen, welche sich oben etwas verengt, und unten heberförmig umgebogen ist. Werden beide Röhren nebst dem Gefäße g mit Quecksilber gefüllt und ausgekocht, und die Röhre a b in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß gestellt, so wird in ihr das Quecksilber bis zum augenblicklichen Barometerstande herabsinken, und z. B. an der Mündung b stehen bleiben. In der zweiten Röhre wird das Quecksilber etwa bis zu c herabsinken und das Ueberschüssige aus d auslaufen. Ueber diesen beiden Quecksilberständen wird sich mithin eine Torricellische Leere bilden. Wenn nun der Luftdruck zunimmt, so wird bei b soviel Quecksilber ausfließen, bis die Höhe der Quecksilbersäule dem Luftdrucke entspricht, und das Quecksilber in dem Gefäße f wird sinken. Je weiter das Gefäß ist, desto größer wird die

bei b ausfließende Menge des Quecksilbers sein. Es ist klar, daß auch die Röhre cd ein Barometer ist, und mithin die Quecksilbersäule darin ebenfalls durch zunehmenden Luftdruck sich verlängert; da aber die Röhre bei c und d sehr eng ist, ungefähr $\frac{1}{4}$ Linien Durchmesser hat, während der Durchmesser des Gefäßes ungefähr 2 Zoll ist, so verhält sich der Querschnitt jener Röhre zu dem des Gefäßes wie 1 : 9216. Die größere Menge Quecksilber, welche also wegen der Verlängerung der Quecksilbersäule in cd stehen bleibt, verschwindet gegen diejenige Quantität, welche durch den vermehrten Luftdruck aus dem Gefäße f in die Röhre ab getrieben wird und unten bei b abfließt. Uebrigens kann man diese, im Verhältniß zu der ganzen Menge Quecksilbers, welche abfließt, verschwindende Quantität, die in der Röhre cd zurückbleibt, in Rechnung bringen.

Die heberförmig gebogene Röhre hik dient als Scale für das beschriebene Barometer. Sind die Durchmesser dieser Röhre und des Gefäßes f genau ausgemittelt, so findet sich die Höhe des in die Meßröhre abfließenden Quecksilbers, wenn das Quecksilber in dem Gefäße z. B. um 1 Linie gesunken ist. Man hat es daher ganz in seiner Gewalt, die geringste Zunahme des Luftdrucks in der Meßröhre noch merklich zu machen. Ist z. B. der Querschnitt des Gefäßes f zwanzig Mal so groß wie der der Meßröhre, so wird ein Steigen des Quecksilbers im Gefäße ein Steigen von 20 Linien in der Meßröhre geben. Nach diesem Verhältnisse der beiden Durchmesser ist die Meßröhre graduirt.

Es versteht sich von selbst, daß die Quecksilbersäule in dem Gefäße l wenigstens so hoch sein müsse, als die Barometerveränderungen an dem Orte betragen, wo das Barometer aufgestellt werden soll, und daß mithin ik, nach dem eben angeführten Beispiele, wenigstens zwanzig Mal so lang sein müsse, als die Quecksilbersäule in dem Gefäße.

Die Ziffern an der Meßröhre richten sich natürlich nach der Höhe des Ortes über der Meeresfläche. Ist

z. B. der mittlere Barometerstand 27 Zoll, so kommt ungefähr die Ziffer 27 an dem in der Mitte der Meßröhre befindlichen Theilstrich zu stehen.

Das Steigen des Barometers nimmt man nicht blos an der Verlängerung der Quecksilbersäule in der Meßröhre war, sondern man hört es sehr deutlich, denn da die bei b ausfließenden Quecksilbertropfen in einer Torricellischen Leere auf das in dc stehende Quecksilber herabfallen, so verursacht dies ähnliche Schläge wie im Wasserhammer. Diese Schläge sind so laut, daß man sie überall in einem großen Zimmer hören kann, worin das Barometer aufgestellt ist. Befindet sich daher das Barometer im Schlafzimmer, so kann man während der Nacht deutlich hören ob es steigt. Die Ausflußröhre bei b ist so sinnreich construirt, daß nicht größere Quantitäten Quecksilber stoßweise ausfließen, sondern das Ausfließen stets tropfenweise erfolgt. Es machte dem Künstler besondere Mühe, bis er die gehörige Construction dieser Ausflußröhre fand, damit dieser Zweck erfüllt werde. In dem Barometer, welches wir von ihm besahen, fallen 261 Tropfen Quecksilber ab, wenn es um eine Linie steigt. Zählt man daher die Schläge innerhalb einer gewissen Zeit, so kann man daraus auf die Höhe, um welche das Barometer in dieser Zeit stieg, schließen. Erfolgt das Steigen rasch, so hört man auch die Schläge rasch hinter einander und umgekehrt. Beobachtet man das Barometer nur einige Wochen lang in seinem Wohnzimmer, so kommt man bald dahin, aus den schneller oder langsamer auf einander folgenden Schlägen auf die gewöhnlichen Folgen des schnelleren oder langsameren Steigens des Barometers zu schließen.

Liest man jedesmal innerhalb einer gewissen Zeit, z. B. innerhalb 24 Stunden, an den Meßröhren ab, so findet man das Maximum des Barometerstandes für diese Zeit. Es ist aber freilich zu bemerken, daß dieses Maximum abhängig von der Temperatur ist, die zur Zeit, als es eintrat, herrschte; daher findet es sich nur approximativ, und in dieser Beziehung läßt das Barometer

noch etwas zu wünschen übrig. Der Künstler hatte jedoch die Absicht, diesen Mangel auf folgende Weise zu ergänzen:

Er beabsichtigte nämlich das Gefäß i an eine Metallstange zu hängen, deren oberes Ende oberhalb des Barometers an der Mauer befestigt ist. Kennt man das Verhältniß der Ausdehnung zwischen dem Quecksilber und dieser Stange, so bestimmt sich daraus die Länge, welche man der Stange zu geben hat, damit ihre Ausdehnung durch irgend eine Temperatur der des Quecksilbers in der Barometerröhre gleich wird. Das an das untere Ende der Metallstange befestigte Gefäß f würde also unter diesen Umständen durch die Zu- oder Abnahme der Temperatur um ebenso viel hinab- oder hinaufgeschoben werden, als die Quecksilbersäule sich verlängert oder verkürzt. Auf diese Weise würde sich der Barometerstand nach der jedesmaligen Temperatur von selbst corrigiren. Wenn auch diese Correction nicht absolut wäre, da die Metallstange früher von der Temperatur afficirt werden würde, wie das in der Glasröhre eingeschlossene Quecksilber, so würden doch die Wirkungen der veränderlichen äußeren Temperatur dadurch größtentheils eliminirt.

Da indeß die lineare Ausdehnung des Quecksilbers ungefähr zehn Mal so groß ist, als die des Kupfers, so würde die Stange, wenn man sie aus Kupfer machen wollte, eine sehr unbequeme Länge bekommen, und daher möchte es vorzuziehen sein, die Metallstange an den kurzen Arm eines einarmigen Hebels zu befestigen, an dessen längerem Arme das Quecksilbergefäß befestigt wäre.

Es ist ist übrigens nicht zu verkennen, daß bei der Ausführung dieser Idee manche practische Schwierigkeiten entgegentreten dürften.

Nachdem man bei der dermaligen Einrichtung des Barometers das Maximum des Barometerstandes innerhalb einer gewissen Zeit gefunden hat, so öffnet man den Hahn l an der Meßröhre und läßt eine Portion

Quecksilber in ein kugelförmiges Glasgefäß fließen, welches in eine Spitze ausgezogen ist, um das Quecksilber wieder bequem in das Gefäß f zurückgießen zu können. Sollte das Quecksilber noch nicht bei b zum Ausfließen kommen, so wiederholt man dieses Ablassen so oft, bis das Quecksilber ausfließt. Beobachtet man, nachdem der letzte Tropfen ausgeflossen ist, den Stand des Quecksilbers in der Meßröhre, so findet sich der Barometerstand im Augenblicke der Beobachtung, und es ist klar, daß, wenn gerade in diesem Momente das Maximum eingetreten sein sollte, eben soviel Quecksilber ausfließen wird, als zugegossen worden ist, und es wird in der Meßröhre auf den vorigen Stand zurückkommen.

So kann man durch diese Manipulation zu allen Seiten den augenblicklichen Barometerstand beobachten, aber ungefähr zwanzigmal kleinere Theile ablesen, wie beim gewöhnlichen Barometer. Auch kann man dann, begreiflicherweise, die Correction wegen Thermometerstand anbringen.

Um das Verhältniß des Durchmessers der Meßröhre und des Gefäßes f genauer als durch diese bloße Messung zu ermitteln, ruht das letztere, was in der Zeichnung nicht angegeben ist, auf einem eingetheilten hohlen messingenen Cylinder, welcher sich in einem zweiten Cylinder, welcher als Spannring dient und auf welchem ein Nonius sich befindet, mittelst einer Mikrometerschraube auf- und abschieben läßt. Diese Vorrichtung dient als eigentliches Calibrir-Instrument; denn wird das Gefäß f von Linie zu Linie hinaufgeschraubt, so fließt die einer jeden Linie entsprechende Menge Quecksilber aus b in die andere Röhre und aus d in die Meßröhre, wo der jedesmalige Stand des Quecksilbers markirt wird und die so erhaltenen Theile geometrisch in eine beliebige Zahl kleinerer Theile getheilt werden. Die Theilung auf der Meßröhre eines Barometers gestattet, bis zu 0,0089 einer Pariser Linie genau zu

messen. Man sieht ein, daß auf diese Weise eine Ungleichheit im Caliber der Meßröhre keinen merklichen Einfluß auf die Genauigkeit der Eintheilung haben könne. Es versteht sich übrigens von selbst, daß dieses Calibriren zu einer Zeit vorgenommen werden müsse, wo sich das Barometer wenig oder gar nicht verändert, weil sonst die Menge des bei d ausfließenden Quecksilbers nicht ganz gleich ist der des bei b einfließenden.

Mittelst dieser Vorrichtung läßt sich auch sehr genau ermitteln, wie viel Tropfen Quecksilber bei b ausfließen, wenn das Barometer z. B. um 1 Linie steigt. Durch eine sehr langsame Elevation des Gefäßes f um 1 Linie hat B. gefunden, daß 261 Tropfen abfließen, und wiederholt man dies mehrere Male, so finden nur Unterschiede von 1 bis 2 Tropfen statt. Ein jeder Tropfen, den man daher bei b abfallen hört, entspricht einem Steigen des Barometers um ungefähr $\frac{1}{261}$ einer Pariser Linie. So kann man namentlich bei Nacht, wenn das Barometer im Steigen begriffen ist, durch Zählen der Tropfen, so genau, als man nur immer wünschen kann, das Steigen des Barometers bestimmen.

Das Minimum-Barometer, Fig. 2, Taf. XII, besteht aus einer Barometerröhre $\alpha\,\beta$, an welche oben $1\frac{1}{2}$ Zoll weites, ausgeschliffenes, cylindrisches Gefäß γ und unten zwei Schenkel $\alpha\,\delta$ und $\alpha\,\eta$, angeschmolzen sind. Beide Schenkel sind mit eisernen Hähnen versehen, um das Quecksilber während des Transports absperren zu können. Das Princip dieses Minimum-Barometers ist im Allgemeinen dasselbe, wie das des Maximum-Barometers, nur mit dem Unterschiede, daß das Quecksilber bei η ausfließt, wenn das Barometer fällt, während es beim Maximum-Barometer beim Steigen ausfließt. Das Quecksilber sammelt sich auch in einer Meßröhre, und die Ausflußröhre ist bei η ebenfalls so construirt, daß das Ausfließen nur tropfenweise erfolgt. Findet bei dem Minimum-Barometer dasselbe Verhält-

niß zwischen den Durchmessern des Gefäßes γ und der Meßröhre statt, wie bei dem Maximum-Barometer, so ist klar, daß jenes dieselbe Empfindlichkeit wie dieses besitzen werde.

Da das hier abtropfende Quecksilber durch einen luftvollen Raum fällt, so hört man es nicht in solchen Schlägen fallen, wie beim Maximum-Barometer. Um es jedoch für den Beobachter hörbar zu machen, fallen die Tropfen in das birnförmige Gefäß ε, das an einem Faden hängt und dessen Spitze in den Trichter, und bewirkt dadurch ein Klirren, das sich wesentlich von dem Schlage des Quecksilbers in der Torricellischen Leere des Maximum-Barometers unterscheidet. Selbst im schlaftrunkenen Zustande, während der Nacht, kann man sehr deutlich diesen Schlag von jenem Klirren unterscheiden, und mithin wissen, ob das Barometer steigt oder fällt.

Man sieht leicht ein, daß auf das Minimum-Barometer der Wechsel der Temperatur keinen Einfluß haben kann; denn der Luftdruck trägt eine Quecksilbersäule von bestimmtem Gewicht, gleichviel ob sich diese Säule durch den Wechsel der Temperatur verlängert oder verkürzt. Man findet daher das Minimum des Barometerstandes ganz unabhängig von der Temperatur in dem Stande des Quecksilbers der Meßröhre für einen gewissen Zeitraum. Hat man dieses Minimum notirt, so öffnet man den eisernen Hahn an der Meßröhre, läßt eine Portion Quecksilber in das kugelförmige Glasgefäß fließen, und gießt es durch den Trichter in die Röhre $\alpha\ \delta$ zurück. Sollte das Quecksilber noch nicht bei η zum Ausfließen kommen, so wiederholt man dieses Ablassen so oft, bis es ausfließt. Auch dieses Ausfließen erfolgt wie beim Maximum-Barometer, so schnell man auch das Quecksilber zugießen mag, tropfenweise.

Beobachtet man, nachdem der letzte Tropfen ausgeflossen ist, den Stand des Quecksilbers in der Meß-

röhre, so findet sich, wie beim Maximum-Barometer, der Barometerstand im Augenblicke der Beobachtung. Sollte gerade in diesem Momente das Minimum eingetreten sein, so wird eben soviel Quecksilber ausfließen, als zugegossen worden ist, und es wird in der Meßröhre auf den vorigen Stand zurückkommen.

Sollen die beiden Barometer an irgend einem Orte aufgestellt werden, dessen mittlerer Barometerstand approximativ bekannt ist, so wird auf zwei Bretter, die hinter die beiden Meßröhren so befestigt werden, die Zahl dieses mittleren Barometerstandes auf einem ungefähr in der Mitte der Meßröhre befindlichen Theilstrich notirt. Auf der Zeichnung steht z. B. die Zahl 27 in der Mitte der beiden Meßröhren. Mittelst des Minimum-Barometers bestimmt man den augenblicklichen Barometerstand, indem man, nachdem vorher durch den Trichter in die Röhre $\alpha \delta$ so viel Quecksilber gegossen worden, daß ein Theil davon bei γ ausgelaufen ist, die Höhe $\delta \gamma$ genau mißt. War z. B. dieser Barometerstand 26,5, so gießt man in die beiden Meßröhren soviel Quecksilber, bis es auf den Theilstrich 26.5 zu stehen kommt. Nun sind die beiden Barometer regulirt. Der Bequemlichkeit wegen kann man eine Scale neben dem Minimum-Barometer befestigen, um nach Gefallen von Zeit zu Zeit diese Regulirung leicht vornehmen zu können. Es versteht sich, daß diese Regulirung jedesmal statthaben muß, wenn vielleicht durch irgend einen Zufall aus dem einen oder andern Barometer etwas Quecksilber verloren gegangen sein sollte. Das Maximum-Barometer kann in diesem Falle auch dadurch regulirt werden, daß das Gefäß f mittelst der Mikrometerschraube hinaufgeschraubt wird, bis soviel Quecksilber aus d ausgelaufen ist, daß es in der Meßröhre auf den, den augenblicklichen Barometerstand entsprechenden Theilstrich zu stehen kommt.

Nach den Erfahrungen, die B. seit acht Monaten durch tägliche Beobachtung der beiden Barometer ge-

macht hatte, dürfte es für Meteorologen ein schätzenswerthes Instrument werden. Nicht deshalb, weil man damit die Barometerstände viel genauer als mit den gewöhnlichen Barometern messen kann, sondern weil man zu jeder Zeit des Tages und der Nacht hört, welche Veränderungen in dem Luftdrucke von statten gehen. In dieser Beziehung hat es gewiß Vorzüge vor dem gewöhnlichen Barometer; denn der eifrigste Meteorolog kann doch unmöglich ohne Unterbrechung die Oscillationen seines Barometers so beobachten, wie sie sich bei dem in Rede stehenden Barometer von selbst merkbar machen. Hört er für längere Zeit weder die Schläge des Maximum-Barometers, noch das Klirren des Minimum-Barometers, so weiß er, daß keine Veränderungen im Luftdrucke von statten gehen. Hört er aber das eine oder das andere, so kündigt sich ihm eine Veränderung des Luftdrucks an, und folgen die Schläge oder das Klirren rasch aufeinander, so wird er angetrieben, seine Aufmerksamkeit zu verdoppeln.

Man weiß, daß langsame Veränderungen des Luftdrucks andere Witterungsveränderungen herbeiführen, als schnelle; ein stetes Steigen oder Fallen des Barometers andere, als ein Oscilliren des Quecksilbers. Alle diese Veränderungen im Luftdrucke kann man aber an unserem Barometer auf die leichteste Art wahrnehmen. Es ist mit Wahrscheinlichkeit zu erwarten, daß der aufmerksame Beobachter aus den Zeitintervallen zwischen den Schlägen des Maximum- und dem Klirren des Minimum-Barometers bald dahin kommen werde, auf bestimmte Witterungsveränderungen zu schließen.

Die Anfertigung dieses Barometers fordert, wie man leicht einsieht, einen geschickten Glasbläser; denn die luftdichte Verbindung der einzelnen Theile eines jeden Barometers ist mit Schwierigkeiten verbunden. Noch schwieriger ist das Auskochen. Wird das Maximum-Barometer geneigt, so füllt sich die Toricellische Leere in

g so vollkommen mit Quecksilber aus, daß man auch nicht das kleinste Luftbläschen bemerken kann. Ebenso ist es beim Minimum-Barometer der Fall, wenn man es neigt und bei δ Quecksilber nachfüllt.

Man macht vielleicht die Bemerkung, daß durch die beständige Circulation des Quecksilbers nach und nach Luft in die Toricellische Leere der beiden Barometer übergeführt und mithin ein öfteres Auskochen derselben nöthig werde. Da indeß ein langer Zeitraum verfließt, ehe die bedeutende Menge Quecksilber in dem Gefäße f durch die Oeffnung b ausfließt, und da die Röhre bis auf den Boden des Gefäßes reicht, so scheint sich während dieser Zeit alle Luft, welche das Quecksilber beim wiederholten Eingießen eingefangen hat, aus dem Quecksilber wieder zu entwickeln. B. hat nie bemerkt, daß, seitdem er das Barometer besitzt, die Toricellische Leere weniger vollkommen gewesen sei. Was das Minimum-Barometer betrifft, so kann das bei δ eingegossene Quecksilber nie in die Barometerröhre und in die Toricellische Leere kommen, sofern nur der Schenkel a δ höher ist, als der Umfang der Barometerveränderungen. Ueberdies versicherte der Künstler, daß selbst dann, als er feuchtes Quecksilber in das Gefäß f eingoß, sich doch keine Spur von Feuchtigkeit in der Torricellischen Leere zeigte. Wenn nun das Wasser nach und nach verdunstet, ohne in die Röhre überzutreten, so darf man wohl erwarten, daß auch beim Eingießen eingefangene Luft sich nach und nach wieder entwickeln werde, ehe dieses Quecksilber erst nach längerer Zeit in die Röhre tritt.

Um jede, nur kurze Zeit anhaltende Oscillation in dem Luftdrucke wahrzunehmen, ist freilich einige Aufmerksamkeit nöthig. So lange man, ohne längere Unterbrechung, das Maximum- oder Minimum-Barometer hört, weiß man, daß der Luftdruck stetig zu- oder abnimmt. Hört man indeß eine Zeitlang z. B. das Maximum-Barometer, und hören dann plötzlich die Schläge auf, so ist der Luftdruck entweder constant geworden,

oder er nimmt ab. Nun muß man, um zu entscheiden, welcher dieser beiden Fälle eingetreten ist, Quecksilber aus der Meßröhre des Minimum-Barometers ablassen und bei δ eingießen. Nachdem das überschüssige Quecksilber wieder bei η abgetropft ist, wird man bald hören, ob das Klirren sich fortsetzt oder wieder aufhört. Setzt es sich fort, so nimmt der Luftdruck ab; setzt es sich nicht fort, und hört man auch nicht das Minimum-Barometer, so ist der Luftdruck stationär geblieben. Um nun mit völliger Sicherheit entscheiden zu können, ob während jener Pause, in der man nichts gehört hat, wirklich keine Oscillation im Luftdrucke stattgefunden habe, läßt man auch aus der Meßröhre des Maximum-Barometers etwas Quecksilber ab, und gießt in das Gefäß f zurück. Findet sich nach dem Abtröpfeln des Quecksilbers wieder derselbe Stand in der Meßröhre, so zeigt auch dies, daß während der Pause der Luftdruck stationär geblieben ist. Kommt hingegen das Quecksilber in der Meßröhre nicht auf den vorigen Stand zurück, so hatte sich der Luftdruck während der Pause etwas vermindert.

Auf dieselbe Weise, wie man, nachdem eine Zeitlang das Maximum-Barometer gehört worden ist, erkennt, ob die eintretende Pause eine Folge eines stationär gewordenen oder verminderten Luftdrucks ist, kann man auch umgekehrt wahrnehmen, ob, nachdem eine Zeitlang das Minimum-Barometer gehört worden ist, und hierauf eine Pause eintritt, dieselbe eine Folge eines stationär gewordenen oder vermehrten Luftdrucks. Tritt nämlich eine solche Pause ein, so läßt man aus der Meßröhre des Maximum-Barometer etwas Quecksilber auslaufen und gießt es in das Gefäß f zurück. Ist das zugegossene Quecksilber wieder abgelaufen und setzen sich die Schläge fort, so ist es ein Zeichen, daß der Luftdruck wieder zunimmt. Hören aber die Schläge auf, so ist der Luftdruck stationär geworden. Eben so wie vorhin kann man nun mit völliger Sicherheit entscheiden, ob während der Pause wirklich keine Oscillation in

dem Luftdrucke stattgefunden habe. Läßt man nämlich aus der Meßröhre des Minimum-Barometers etwas Quecksilber ab und gießt es wieder zurück, so findet sich, wenn nach dem Abtröpfeln desselben der vorige Stand in der Meßröhre wieder eintritt, daß der Luftdruck während der Pause stationär geblieben ist. Kommt hingegen das Quecksilber in der Meßröhre nicht auf den vorigen Stand zurück, so hatte sich der Luftdruck während der Pause etwas vermehrt.

Wird nun noch Taf. XII, Fig. 3, das Minimum-Barometer A mit einem Minimum-Barometer B verbunden, so wird bei zunehmendem Luftdrucke das bei b ausfließende Quecksilber das Minimum-Barometer stets voll erhalten, und es wird die Abnahme des Luftdruckes sich sogleich an dem bei a ausfließenden Quecksilber zeigen. Das wird auch der Fall sein, wenn das Maximum-Barometer C mit einem Minimum-Barometer D verbunden wird; auch hier wird, wenn der Luftdruck abnimmt, das bei d ausfließende Quecksilber das Maximum-Barometer voll halten, so daß auch hier die Zunahme des Luftdrucks sich durch den augenblicklichen Ausfluß bei e zeigen wird. Werden nun die Schwimmer o und p die oben mit einer Bleifeder versehen sind, in die Meßröhren m und n gebracht, und zwischen die Meßröhren ein mit Papier überzogener Cylinder E, der mit einem Uhrwerk in Verbindung steht, welches sich in 24 Stunden um seine Axe dreht, so wird man auf dem Papiere nach 24 Stunden eine graphische Darstellung der Barometer-Variationen erhalten. — Bischof will auf seine geistreiche Idee mehr die Mechaniker hinleiten, als sie schon fertig und vollendet hingestellt haben. —

C. Décharmes hat in Compt. rendu 47 p. 655 und 829 die früher von de Celles angegebene Idee in seinem Baromètre à maxima et minima wieder aufgenommen und das Minimum-Barometer de Celles auch gleichzeitig zu einem zu einem Maximum-Barometer eingerichtet. Wir verweisen in Bezug auf das Ausführliche auf die Quellen. —

F. Abgekürztes Barometer.

Man kann den Luftdruck auch nach der Höhe einer Flüssigkeitssäule messen, durch die ein abgesperrtes Luftvolum nach einem bestimmten Verhältnisse comprimirt wird. Das war schon die Idee Hooke's (Phil. Trans, Vol. 22, p. 791), die namentlich Kopp vollständig ausführte. Wir geben das von ihm Mitgetheilte nach der Quelle in Pogg. Ann. 56, p. 513.

§. 38.

Kopp's abgekürzter Barometer.

Das Princip, auf welchem das abgekürzte Barometer beruht, und welches zuerst von August hierzu angewandt wurde, ist, daß gleiche Volumen Luft von verschiedener Dichtigkeit, um ein gleich großes Volum comprimirt, verschieden hohen Quecksilbersäulen das Gleichgewicht halten, so daß die verschiedenen Höhen der Quecksilbersäulen proportional sind den verschiedenen Dichtigkeiten. Da die Dichtigkeit der Luft durch den Barometerstand gegeben ist, so könnte schon folgendes Instrument zur Bestimmung des Luftdrucks dienen: In einem Glascylinder $m m_1$ $n n_1$ (Taf. XIII, Fig. 5), durch dessen obere Fassung $d d_1$ eine dünne Glasröhre e f hindurchgeht, stecke unten einen Kolben k und über demselben befinde sich eine Schicht Quecksilber g. Wird bei senkrechter Stellung des Instruments der Kolben aufwärts gedrückt, so sperrt das Quecksilber, sobald es mit dem untern Ende e der Röhre ef in Berührung kommt, in dem obern Theile $m m_1$ des Glascylinders ein bestimmtes Volum Luft $=$ x ab; bei noch weiterem Aufwärtsdrücken des Kolbens wird diese Luft comprimirt, und das Quecksilber steigt in der Steigröhre ef in die Höhe. Drückt man den Kolben aufwärts, bis sich das Quecksilber in $m m_1$ in genauer Berührung mit der

Spitze a eines an die Fassung d d, befestigten Drahts befindet, so wird, wenn der Raum von e bis a durch y und der Barometerstand durch B St gegeben ist, die Höhe der Quecksilbersäule in der Steigröhre durch $\frac{y}{x - y}$ B St ausgedrückt sein. Hat sich bei Wiederholung dieser Operation der Barometerstand geändert, so wird auch die Quecksilbersäule in s f von verschiedener Höhe sein; sie ist immer dem Barometerstande proportional.

Wenn also an der Steigröhre eine Scale befestigt ist, welche die Quecksilberhöhe, von der Drathspitze a an gerechnet, in irgend einem Maße angiebt, so läßt sich ein solches Instrument gebrauchen, um die Aenderungen des Barometerstandes zu bestimmen. Man ermittelt aus mehreren Beobachtungen (Compressionen der Luft im Instrument bis zur Berührung der Drahtspitze a durch das Quecksilber), mit welchem Coefficienten die abgelesene Quecksilberhöhe zu multipliciren ist, um den wahren Barometerstand zu geben; kennt man diesen Coefficienten, so kann man nun allgemein aus den Angaben des Instruments den an Ort und zur Zeit irgend einer damit angestellten Beobachtung stattgehabten Barometerstand bestimmen, indem man die bei der Beobachtung abgelesene Quecksilberhöhe mit dem früher ausgemittelten Coefficienten multiplicirt.

Die Anwendung dieses Princips beruht also darauf, daß man annimmt, dieser Coefficient, einmal ausgemittelt, sei sodann stets anwendbar; mit andern Worten, daß man annimmt, das Instrument sei vollkommen unveränderlich, es werde darin immer dieselbe vollkommen gleiche Volumenmenge Luft abgesperrt, und immer um vollkommen gleichviel dem Raum nach comprimirt. Bei einem Instrument, welches oft und auf lange Strecken transportirt wird, wäre es möglich, daß eine solche angenommene Unveränderlichkeit nicht in Wirklichkeit statt hat, selbst wenn eine Construction gewählt ist, bei der man in keiner Hinsicht eine Alteration des Instruments zu befürchten hat, ist es der Sicherheit

wegen von Vortheil, aus den Angaben des Instruments Ort und Stelle der Beobachtung sich von dem unveränderten Zustande desselben überzeugen zu können, und an dem Instrument selbst eine Controlle für die Richtigkeit seiner Angaben zu haben. Dieser Forderung wird auf folgende einfache Art Genüge geleistet.

Denken wir uns in Fig. 5 Taf. XIII außer dem Draht a noch einen zweiten b befestigt, der von dem erstern hinsichtlich seiner Länge nur wenig verschieden ist. Man kann offenbar diesen Draht b eben so benutzen, wie es vorhin für den Draht a gezeigt wurde, und aus den Angaben des Instruments für die Compressionen bis zu der Drahtspitze b ebensowohl auf den Barometerstand schließen. Es wäre hierzu nur nöthig, daß an der Steigröhre e f zwei Scalen angebracht wären, eine, als deren Nullpunkt die Drahtspitze b gelte. Diesem Uebelstand eine doppelte Scale anbringen zu müssen, entgeht man dadurch, daß man auf der beliebig getheilten Scale den Nullpunkt nahe über der Fassung $d d_1$, aber sonst willkürlich, annimmt, und den Abstand jeder Drahtspitze von dem Nullpunkt der Scale, in Theilen dieser letzteren ausgedrückt, bestimmt. Diese Abstände werden dem Instrument als Correction beigefügt, und die Quecksilberhöhe, welche einer Compression bis zu einer der Drahtspitzen zugehört, ist die auf der Scale abgelesene Höhe, corrigirt um den Abstand dieser Drahtspitze von dem Nullpunkt der Scale.

Sei nun dieser Abstand für die Drahspitze $a = \mathfrak{a}$ (für die Drahtspitze $b = \mathfrak{b}$), die bei Compression bis zur Drahtspitze a auf der Scale abgelesene Quecksilberhöhe $= \mathfrak{A}$ (bis zur Drahtspitze $b = \mathfrak{B}$), so ist die ganze Quecksilberhöhe, welche dieser Compression bis zur Spitze a entspricht, $= \mathfrak{A} + \mathfrak{a} = A$, (die, welche der Compression bis zur Drahtspitze b entspricht, $= \mathfrak{B} + \mathfrak{b} = B$). Bei wiederholten Operationen bei verschiedenem Barometerstand ändert sich $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$, so daß immer A

und B dem Barometerstand proportional sind. Man bestimmt aus mehreren Beobachtungen die constanten Coefficienten α und β, womit A und B zu multipliciren sind, um den wahren Barometerstand zu geben, so daß $A\,\alpha = B$ St und $B\,\beta = B$ St. Es behalten α und β denselben Zahlenwerth für dasselbe Instrument (man findet mittelst ihrer aus richtigen Beobachtungen den richtigen Barometerstand), so lange sich an dem Instrument nichts ändert. Man kann dann, wo α und β bekannt sind, mittelst des Instruments überall den Barometerstand bestimmen; man comprimirt die Luft im Instrument bis zu a und bis zu b, findet durch Ablesen $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ und durch Zufügung der Correctionen $\mathfrak{A} + a = A$ und $\mathfrak{B} + b = B$, welche mit α und β multiplicirt den gesuchten Barometerstand durch $A\,\alpha$ und $B\,\beta$ übereinstimmend geben müssen. Erleidet das Instrument später irgend eine Veränderung, so wird sich diese in der Art bemerklich machen, daß $A\,\alpha$ nun nicht mehr $= B\,\beta$ ist. Man hat hier eine Controle für die Richtigkeit der Angaben des Instruments und für die Zulässigkeit der an demselben gemachten Beobachtungen. — In der Ausübung ist diejenige Art der Controle noch einfacher, daß man bei der Beobachtung sogleich den Quotienten $\frac{A}{B}$ berechnet; dieser Quotient muß stets, bei allen Barometerständen, dem früher bestimmten Werthe $\frac{\alpha}{\beta}$ gleich sein, wofern das Instrument noch ganz unverändert so ist, wie es zur Zeit der directen Bestimmung von α und β war. Diese Art der Controle giebt begreiflich stattgehabte Veränderungen um so deutlicher an, je verschiedener der Werth $\frac{B}{A}$ von 1 ist, und man wird also, um sie anzuwenden, die beiden Drahtspitzen ziemlich ungleich lang nehmen, so daß bei den Beobachtungen A und B hinlänglich verschiedene Werthe haben. Die Uebereinstimmung des aus den

Beobachtungen sich ergebenden Quotienten $\frac{B}{A}$, mit dem für das Instrument ein für allemal bestimmten Werthe $\frac{\alpha}{\beta}$ ist dann der Maßstab für die Brauchbarkeit der Beobachtungen; ebenso, wie eine erhebliche Differenz zwischen beiden darauf schließen läßt, entweder, daß die Beobachtungen fehlerhaft sind, was sich durch Wiederholung derselben leicht entscheiden läßt, oder daß an dem Instrument eine Veränderung stattgefunden hat. Wie eine solche Veränderung entstehen kann, werden wir sogleich sehen.

Ueber die beste Construction des abgekürzten Barometers.

Ein Instrument, welches die eben besprochene Einrichtung (Fig. 5, Taf. XIII.) hat, ist allerdings schon zur Bestimmung des Barometerstandes anwendbar, indeß eignet sich die Construction desselben für die Praxis nicht vortheilhaft. Ueberhaupt leisten nicht alle Constructionen, welche sich auf das angegebene Princip gründen, gleichviel, und gerade die Einrichtungen, welche als die einfachsten am nächsten liegen, bewährten sich bei längerem Gebrauch am wenigsten. Um Anderen die Mühe zu ersparen, in dieser Beziehung nutzlose Erfahrungen machen zu müssen, hat Kopp einige der Constructionen, die er ausgeführt hat, und für welche ihm umfassendere Reihen von Beobachtungen vorlagen, angegeben, diejenige Construction aber, welche seiner Erfahrung nach allen Anforderungen Genüge leistet, ausführlicher beschrieben. Die einfachste Construction, auf welche er bereits im 40. Bande von Poggendorf's Annalen aufmerksam gemacht hat, ist Fig. 1, Taf. XIV. in etwa ⅓ der wirklichen Größe dargestellt. Die Einrichtung geht aus dem Vorhergehenden und der Zeichnung deutlich genug hervor. Ein solches Instrument, dessen Scale und Controleinrichtung nach dem im Vorstehenden Enthaltenen

ausgeführt war, hat er vielfach gebraucht, und namentlich im Mai 1841 zu zahlreichen Höhenbestimmungen im Salzburgischen benutzt. Die Resultate, welche er hier erhielt, bestätigten sehr befriedigend die Anwendbarkeit des Princips, auf welchem das abgekürzte Barometer beruht; die Höhendifferenzen, welche er mittelst seines Instrumentes fand, stimmten mit den von zuverlässigen Beobachtern auf andere Weise früher gefundenen, so nahe überein, als diese unter sich. Die mit diesem Instrument gemachten Beobachtungen hier vollständig anzuführen, wird indeß um so weniger nöthig sein, da die dabei angewandte Construction verwerflich erscheint, insofern sie Uebelständen ausgesetzt ist, die sich durch Abänderung leicht vermeiden lassen.

Ein solches Instrument, Fig. 1, Taf. XIV, wo der gebogene Glascylinder mm_1, nn_1 unter etwa 3 Linien im Durchmesser hat, wird nämlich durch den Uebelstand sehr afficirt, daß durch anhaltendes Schütteln während eines langen Transports das Quecksilber sich oxydirt und dann am Glase fest anhaftet, wodurch eine merkliche Veränderung des Instruments herbeigeführt wird. Diese giebt sich dadurch zu erkennen, daß alsdann der Quotient $\frac{B}{A}$ nicht mehr mit dem Werth $\frac{\alpha}{\beta}$ übereinstimmt, wie der letztere sich aus Beobachtungen ableitete, die angestellt wurden, als das Instrument noch neu war (als das Quecksilber noch nicht dem Glase adhärirte). Die Ursache davon liegt darin, daß wenn das Quecksilber dem Glase nicht adhärirt, bei der Operation ein anderes Luftvolum in mm_1 abgesperrt wird, als wenn Adhäsion statt hat. In dem ersteren Falle berührt das Quecksilber die Spitze e der Steigröhre mit einer convexen Oberfläche, in dem zweiten mit einer planen oder concaven.

Dieser Umstand macht sich wenig bemerkbar in der ersten Zeit nach der Verfertigung des Instruments oder so lange es nicht sehr starke, anhaltende Erschütterungen erleidet, aber nach Reisen von 30 bis 100 Meilen fand

K. ihn sehr deutlich hervortretend; die Beobachtungen, die man alsdann anstellt, können nicht mehr mit Zuverlässigkeit nach den Coefficienten berechnet werden, welche von der Reise ausgemittelt wurden.

Man könnte diesen Uebelstand vermeiden, dadurch, daß man das Instrument vor jeder größeren Reise von Quecksilber entleert, und erst an Ort und Stelle, wo man beobachten will, wieder einfüllt; es würde dies indeß nur für kürzere Zeit helfen, und außerdem würde diese Einrichtung das Instrument unbequem machen; Kopp suchte deshalb die in Rede stehende Fehlerquelle durch Veränderung der Construction unwirksam zu machen.

Diese Fehlerquelle ist offenbar von um so größerem Einfluß, je enger der Schenkel $m m_1$ ist. Will man diesen in der Construction Fig. 1, Taf. XIV viel weiter nehmen, so gelingt die Biegung bei p nicht mehr gut.

Die Unsicherheit in den Angaben eines abgekürzten Barometers, welches sich auf das oben angegebene Princip gründet, beruht einmal auf der Unsicherheit, ob in dem Luftbehälter $m m_1$ immer gleich viel Luft abgesperrt werde, und dann auf der Unsicherheit im Einstellen, nämlich das Quecksilber in $m m_1$ in genaue Berührung mit einer Drahtspitze zu bringen.

Die erstere dieser Unsicherheiten (soweit sie von der Veränderlichkeit der Gestalt abhängt, welche die Oberfläche des Quecksilbers hat) nimmt ab, wie die Weite von $m m_1$ zunimmt; die zweite übt hingegen einen um so größeren Einfluß aus, je weiter bei gleicher Höhe (gleichem Abstande von $d d_1$ bis e) der Luftbehälter $m m_1$ ist.

Beide Unsicherheitsquellen werden aber um so unmerklicher, je höher der Luftbehälter $m m_1$ bei gleicher Weite ist, auf ein je größeres Luftvolum sie sich nämlich vertheilen. Eine Construction, bei welcher nun der Luftbehälter $m m_1$ so hoch wie möglich ist, stellt Fig. 2, Taf. XIV. in etwa $\frac{1}{2}$ der wirklichen Größe dar. Hier befindet sich die Steigröhre e f fast ganz in dem Luftbehälter $m m_1$ eingeschlossen, die Scale ist auf das Glas

der Steigröhre selbst aufgetragen, und die Drähte, mit deren Spitze das Quecksilber mit der Compression in Berührung gebracht wird, ist ebenfalls an der Steigröhre selbst befestigt.

Die Einrichtung und Verfertigung dieses Instruments, welches in jeder Hinsicht verdient, im allgemeineren Gebrauch zu kommen, wird durch das Folgende hinlänglich klar werden.

Von den beiden Glasröhren mm_1 und nn_1 braucht nur die nn_1 genau cylindrisch zu sein; indeß ist auch für diese Ausschleifen nicht nöthig. Die Fassungen, mittelst welcher die gebogene Röhre p in mm_1 und nn_1 befestigt ist und das obere Ende von mm_1 verschlossen wird, besteht aus weichem Kork; sie sind mit gutem (bei dem Schmelzen keine Dämpfe ausstoßenden) Siegellack eingekittet, welches sie inwendig ganz glatt geschmolzen überzieht. — Den Kolben k verfertigt man ebenfalls aus weichem Kork, so daß er, ohne sich schwer auf- und abschieben zu lassen, für einen Druck von 8 bis 9 Zoll Quecksilberhöhe quecksilberdicht schließt. (Vollkommen luftdicht braucht er nicht zu schließen.) Der Kolben darf keine Art von Fett oder einer ähnlichen Substanz zum Behuf der leichtern Beweglichkeit erhalten, weil dadurch eine Verunreinigung des Quecksilbers herbeigeführt wird.

Bei der Zusammensetzung des Instruments vereinigt man zuerst die Röhren mm_1 und nn_1 durch Einkitten der gebogenen Röhre p; bevor die obere Fassung dd_1, in welcher die Steigröhre ef befestigt ist, eingesetzt werden kann, muß alles zu dieser letzteren Gehörige vollendet sein.

Die Steigröhre ef paßt man so ab, daß ihre Länge ungefähr der von mm_1 gleichkommt. Wird sie dann später in das obere Ende von mm_1 so befestigt, daß ihre untere Mündung e gleich einige Linien über der unteren Fassung von mm_1 steht, so muß ihre obere Oeffnung f über das obere Ende von mm_1 frei hervorragen. — Die Steigröhre ist unten bei e ein

wenig verengt ausgezogen; es ist auf ihr eine willkürliche Scale aufgetragen, deren Nullpunkt etwa um ⅓ der ganzen Länge, womit die Steigröhre in mm_1 zu stehen kommt (um ⅓ der Länge dd_1 bis e) von dem unteren Ende e der Steigröhre absteht. Die Scale wird auf die Steigröhre bis dahin aufgetragen, wo diese in die Fassung dd_1 eingekittet wird. Ihre Theilstriche und die Bezeichnung derselben sind entweder auf die Steigröhre geäzt, oder auch nur mit farbigem Firniß aufgetragen; letzteres reicht hin, weil die Steigröhre in die Glasröhre mm_1 eingeschlossen und so gegen jede Beschädigung gesichert wird.

Man befestigt nun die Steigröhre in die bereits eingepaßte, aber noch nicht eingekittete Fassung dd_1, so daß bei dem späteren Einsetzen diese Fassung in mm_1 das untere Ende e der Steigröhre einige Linien von der unteren Fassung der Röhre mm_1 abstehen wird. — An die Steigröhre wird nun der Draht fest gemacht, mit dessen Spitze a und b das Quecksilber bei der Compression der Luft in mm_1 in Berührung gebracht werden soll. Zu dem Ende wird ein Platindraht in seinem mittleren Theile spiralförmig gerollt und auf die Steigröhre geschoben, wie aus der Fig. 2, Taf. XIV. ersichtlich ist. Beide Enden des Drahts a und b sind zugespitzt und geschwärzt, die eine Spitze a steht etwa um 2 bis 3 Linien niedriger als die andere b. Der Abstand der oberen Drahtspitze b von dem unteren Ende e der Steigröhre bestimmt sich auf folgende Weise.

Ist das Instrument fertig, so darf für den höchsten vorkommenden Barometerstand bei der Compression der Luft in mm_1 bis zur Berührung der Drahtspitze b vom Quecksilber dieses in der Steigröhre nicht über die Fassung dd_1 hinaussteigen, weil die Scale nur bis dahin geht; die Stellung der Drahtspitze b muß also so sein, daß für diesen Fall das Quecksilber in der Steigröhre bis nahe an die Fassung dd_1 sich erhebt, ohne darüber hinauszugehen. Insofern man die Räume in der Glasröhre mm_1 ihrer Höhe proportional betrachten kann,

läßt sich, wenn die Länge der Steigröhre innerhalb mm_1 (von dd_1 bis e) gemessen ist, leicht finden, in welchem Abstand von dem unteren Ende e der Steigröhre die Drahtspitze b kommen muß. Ist die erstere Länge = x bekannt, so bestimmt sich der letztere Abstand y dadurch, daß für den höchsten vorkommenden Barometerstand = s (wo x, y, s, in demselben Maße ausgedrückt sind) $x + \frac{y}{x-y} s$ nicht größer als x sein darf; man nimmt y so, daß $y + \frac{y}{x-y} = s$ um einige Linien kleiner ist als x. Für die Praxis reichen folgende Bestimmungen aus:

Ist x, die Länge der Steigröhre, innerhalb mm_1 (von dd_1 — e).	so nimmt man y, den Abstand der höchsten Drahtspitze b von dem unteren Ende e der Steigröhre.
11 Zoll	2,45 Zoll
10 „	2,1 „
9 „	1,75 „
8 „	1,4 „

Man schiebt nun den Draht auf der Steigröhre so, daß sich seine obere Spitze b genau in dem richtigen Abstand von dem unteren Ende e der Steigröhre befindet, und befestigt ihn in dieser Stellung durch Aufschmelzen von etwas Siegellack. Sodann mißt man, noch vor dem Einkitten der Fassung dd_1 mit der Steigröhre in den Luftbehälter mm_1, den Abstand jeder Drahtspitze von dem Nullpunkte der Scale genau. Nunmehr kittet man die Fassung dd_1 in das obere Ende von mm_1 ein, so daß die Steigröhre sich in der Axe von mm_1 befindet.

Die Füllung des Instruments mit Quecksilber geschieht folgendermaßen: Man nimmt den Kolben k aus der Röhre nn, heraus, und verschließt das obere Ende f der Steigröhre mit einem Stöpselchen. Nun gießt

man in n n, eine zureichende Menge von Quecksilber ein, setzt den Kolben in die obere Mündung der Röhre n n, kehrt das Instrument um, nimmt den Stöpsel von dem Ende f der Steigröhre weg und drückt den Kolben langsam aufwärts, bis alle Luft aus dem Cylinder n n und der krummen Röhre p entfernt ist. Die Quantität Quecksilber nimmt man so, daß bei dem höchsten Stand des Kolbens in n n, wenn sich zwischen dem Kolben und dem Quecksilber keine Luft mehr befindet, das Quecksilber in m m, etwa eine oder zwei Linien unter dem Ende e der Steigröhre steht (wie in der Figur). Man muß möglichst reines Quecksilber anwenden. (Findet zufällig bei irgend einer Gelegenheit ein Verlust an Quecksilber statt, so schadet dies nichts, so lange nur noch so viel Quecksilber in dem Instrumente enthalten ist, daß man die Compression der Luft in m m, bis zur Berührung der Drahtspitze b mit dem Quecksilber bewerkstelligen kann).

Wie das nun fertige Instrument auf ein Holztäfelchen befestigt ist, ergiebt sich aus der Zeichnung hinlänglich deutlich.

Fig. 2, Taf. XIV. stellt das Instrument, wie schon bemerkt, in etwa ½ der wirklichen Größe dar; kleiner, als in den hieraus folgenden Dimensionen, räth. K. es nicht zu verfertigen; aber es kann füglich etwas länger ausgeführt werden, ohne dann in der Praxis unbequem zu sein, so daß der ganze Apparat eine Länge von etwa 11 bis 12 Pariser Zoll auf 1½ Zoll Breite erhält.

Die Resultate, welche man mit diesem Instrumente in schnell aufeinander folgenden Beobachtungen erhält, stimmen vollkommen genau untereinander überein. Rathsam ist, in den verschiedenen Operationen den Kolben nicht mit zu verschiedener Schnelligkeit abwärts zu bewegen, sondern sich an ein gleichförmiges Comprimiren zu gewöhnen: weil bei sehr großer Geschwindigkeit des Kolbens das Quecksilber in m m, mit einer convexeren Fläche die Oeffnung e der Steigröhre abschließt, als bei

einer langsamen. Indeß ist dieser Umstand bei der Construction, Fig. 2, Taf. XIV, kaum von merklichem Einfluß.

Um das Quecksilber mit einer Drahtspitze in Berührung zu bringen, sieht man auf diese und zugleich auf ihr in dem Quecksilber sichtbares Spiegelbild. Mit größerer Schärfe treten beide hervor, wenn man nicht directes Licht auf das Instrument fallen läßt, sondern die eine Hälfte des Cylinders mm_1 in der Gegend der Drahtspitzen mit einer losen Hülle weißen Papiers bekleidet.

Die Art, das Instrument zu transportiren, ist äußerst einfach. Das hölzerne Täfelchen, auf welches es befestigt ist, hat größere Dimensionen, so daß es über den eigentlichen Apparat hinaussteht. Das Täfelchen kann als Deckel auf ein Kästchen gelegt werden (das gleiche Länge und Breite mit ihm hat, und dessen Wände etwa eine Linie dick sind), so daß kein Theil des Instruments gedrückt ist, und läßt sich in dieser Lage durch einige Häkchen befestigen. — Zum Transport stellt man nun den Kolben so hoch, daß das Quecksilber in mm_1 eben unter dem unteren Ende e der Steigröhre steht, verschließt das obere Ende f derselben mittelst eines Stöpsels aus Kork, und verwahrt nun das Instrument, wie oben angegeben, gegen äußere Beschädigungen. Das Instrument kann so die härtesten Stöße ohne Nachtheil ertragen, und sein Transport erfordert in keiner Weise eine besondere Vorsicht. — Zum Gebrauch nimmt man den Stöpsel aus dem oberen Ende f der Steigröhre hinweg, schafft das Quecksilber, welches zufällig in die Steigröhre getreten ist, durch Aufwärtsziehen des Kolbens heraus, und bringt durch Umkehren des Instruments und Aufwärtsdrücken des Kolbens alle Luft aus nn_1 und p weg. An die Construction des abgekürzten Barometers von Kopp anknüpfend, hat nun C. Brunner von Wattenwyl sein Taschenbarometer construirt, dessen Construction wir aus den Mittheilungen der Berner Naturforschenden Gesellschaft hier nun folgen lassen.

§. 39.

C. Brunner's von Wattenwyl Taschenbarometer.

Die Uebelstände des Kopp'schen Barometers bestehen nach der eigenen Angabe des Verfassers: 1) in der Erschütterung des Quecksilbers in dem Luftbehälter beim Transport, wodurch nicht allein das erstere sich leicht oxydirt und die Gefäßwände beschmutzt, sondern auch das ganze Instrument zerbrechlich wird; 2) in der Schwierigkeit des genauen Einstellens des Quecksilbers auf die Spitze mit Hülfe des Kolbens, welcher nur mit der Hand niedergedrückt wird; 3) in der Unmöglichkeit eines genauen Ablesens, indem die Steigröhre des Quecksilbers in dem Luftbehälter eingeschlossen ist.

Bei denjenigen Instrumenten, welche für den practischen Gebrauch bestimmt sind, kann ein scheinbar unbedeutender Nebenumstand den ganzen Werth einer principiell ganz richtigen und sinnreichen Einrichtung zerstören und die geringste Verbesserung in dieser Beziehung den Werth eines solchen Instruments bedingen.

Die Verbesserungen, welche Brunner an dem Kopp'schen Instrumente anbrachte, bestehen in der Aufhebung aller jener oben angeführten Uebelstände.

Bevor wir zu der Beschreibung übergehen, geben wir für diejenigen Leser, welche mit den frühern Arbeiten über diesen Gegenstand nicht bekannt sind, folgende einfache Erläuterung des August'schen Princips.

Wenn ein bestimmtes Volumen Luft abgesperrt und um einen gewissen Volumtheil comprimirt wird, so ist der Druck, den die comprimirte Luft ausübt, um so größer, je dichter die abgesperrte Luft vor der Compression war. Wenn man z. B. am Ufer des Meeres ein gewisses Volumen Luft absperrt und durch Druck um $\frac{1}{10}$ verdichtet, so wird diese comprimirte Luft einer Quecksilbersäule von bestimmter Länge das Gleichgewicht halten. Comprimirt man nun auf einem Berge ein gleich

großes Volumen Luft ebenfalls um $\frac{1}{10}$, so wird die Quecksilbersäule, welche hier die comprimirte Luft äquilibrirt, niedriger sein als am Ufer des Meeres, und zwar wird der Unterschied in einer bestimmten Beziehung zu dem Dichtigkeitsverhältniß der Luft auf der untern und obern Station stehen.

v sei das Volumen der Luft, welche bei dem eben stattfindenden Barometerstand B abgesperrt wird.

v' sei das Volumen der gleichen Luft, nachdem sie comprimirt wurde. Diese Luft drücke auf Quecksilber, welches in einer gegen die äußere Luft offenen Steigröhre sich erheben kann, und h sei die Höhe der auf diese Weise gehobenen Quecksilbersäule.

Die comprimirte Luft befindet sich alsdann offenbar unter dem Druck $B + h$ und wir haben nach dem Mariotte'schen Gesetze folgende Gleichung:

$$v' : v = B : B + h$$

und leiten daraus ab

$$B + h = \frac{v \cdot B}{v'} \text{ und}$$

$$h = \left(\frac{v - v'}{v}\right) B \text{ oder}$$

$$B = h \frac{v'}{v - v'}$$

das heißt, der jeweilige Barometerstand ist gleich der durch den Druck der comprimirten Luft gehobenen Quecksilbersäule, multiplicirt mit einem constanten Coefficienten, welcher immer der gleiche ist, wenn das abgesperrte Luftvolumen v und die nachherige Compression (resp. v') stets gleich bleiben. Dieser Coefficient kann ein für allemal für ein gegebenes Instrument empirisch durch Vergleichung mit einem guten Barometer bestimmt werden, indem man die beobachtete Erhebung des Quecksilbers in der Steigröhre in die gleichzeitig beobachtete Barometerhöhe dividirt. Der Barometerstand sei z. B. 719,5 Millim. und die Erhebung des Quecksilbers in

der Steigröhre betrage 162,5 Millim., so ist der constante Coefficient $\frac{917,5}{162,5} = 4,428$.

Dieses Princip wird nun auf folgende Weise practisch ausgeführt:

Der Quecksilberbehälter A (Taf. XIV, Fig. 3) ist ein Cylinder aus abgedrehtem Eisen, in welchem sich ein Kolben (B) quecksilberdicht auf und nieder bewegen läßt durch eine Schraube (C), wodurch das im Gefäß enthaltene Quecksilber beliebig in die Höhe gedrängt oder gesenkt werden kann. Beim Transport wird die Schraube herunter gelassen und das Gefäß mit einem eisernen Deckel D durch Aufschrauben verschlossen.

In diese Schraubenwindung paßt die Fassung E der weiten Glasröhre F, welche beim Gebrauche aufgeschraubt wird. Alsdann drängt man durch die Schraube C das Quecksilber in die Höhe, bis die untere Oeffnung der innern Röhre G, welche oben und unten offen ist, durch das ansteigende Quecksilber verschlossen und dadurch in der weiten Röhre F, welche oben in die Messingfassung H luftdicht eingekittet ist, ein bestimmtes und bei jeder Wiederholung des Versuches gleiches Volumen Luft abgesperrt wird. Diese Luft steht bis zum Moment des Absperrens durch die untere Oeffnung von G mit der äußern Luft in Verbindung und hat daher genau die gleiche Spannkraft. Durch weiteres Zuschrauben von C wird die abgeschlossene Luft comprimirt und dieses wird fortgesetzt, bis das Quecksilber genau auf die eiserne Spitze I eingestellt ist. Damit ein kleiner Fehler in dieser Einstellung bei den verschiedenen Versuchen eine möglichst geringe Differenz in dem abgesperrten Luftvolumen ausmache, ist an der Stelle der Eisenspitze I der Raum der weiten Röhre F durch einen eingekitteten eisernen Ring K verengt.

Diese Compression der Luft bewirkt ein Steigen des Quecksilbers in der oben offenen und unten in das Quecksilber tauchenden Röhre G, und der Abstand der

Quecksilber-Kuppe in dieser Röhre von der Spitze I, auf welche das äußere Niveau eingestellt ist, ist offenbar das Maß des Druckes der in F eingeschlossenen Luft.

Da die geringste Temperaturveränderung dieser abgesperrten Luft eine Veränderung ihrer Spannkraft bewirkt, so darf man während der Dauer des Versuches die äußere Röhre nicht berühren, andererseits ist eine möglichst genaue Ablesung der gehobenen Quecksilbersäule von Wichtigkeit, indem dieselbe zur Berechnung des Barometerstandes mit einem Coëfficienten multiplicirt werden muß. Diese Bedingungen werden durch die Spitzeneinstellung erreicht. An der Fassung H befindet sich bei M ein Zahnrad, welches durch den Kopf N gedreht wird und in Kerben eingreift, welche auf der Rückseite des Messingstäbchens L angebracht sind. Es kann somit durch Drehung des Kopfes N die an dem Stäbchen L befestigte eiserne Spitze O ganz genau auf die Kuppe des Quecksilbers in der Röhre G eingestellt werden. Um den Fehler der Capillarität möglichst zu vermeiden und diese Einstellung leichter zu bewerkstelligen, ist die Steigröhre G in ihrem oberen Theile erweitert. An der vorderen Seite des Messingstäbchens L ist eine Eintheilung in Millimeter, und auf der Fassung M ein fester Nonius zur Ablesung von Zehntelmillimetern angebracht. Die Eintheilung ist so eingerichtet, daß die abgelesene Zahl unmittelbar den Abstand an der Spitze O von der Spitze I angiebt.

Seitlich an der Röhre G ist das Thermometer P angebracht. Beim Gebrauch wird das Instrument an den seidenen Schnüren Q aufgehängt.

Für den Transport wird die Röhre F mit allen daran befestigten Theilen von dem Quecksilbergefäße abgeschraubt und in einem eigenen Futteral verpackt, sowie das Quecksilbergefäß. Um eine Temperatur-Erhöhung durch das unausweichliche Anfassen des Quecksilbergefäßes beim Schrauben zu vermeiden, ist das letztere mit einem wollenen Ueberzuge versehen.

Der einzige Fehler, welcher nicht vermieden werden kann, ist die Temperaturerhöhung der eingeschlossenen Luft durch die Compression, wodurch ihre Spannkraft sich um etwas vermehrt. Da jedoch diese Vermehrung des Druckes bei jeder gleichförmig angestellten Beobachtung im Verhältniß der ursprünglichen Dichtigkeit der abgesperrten Luft bleibt, so thut sie der Richtigkeit der Beobachtung keinen Abbruch.

Ueberhaupt gewinnt das Instrument bedeutend an Zuverlässigkeit, wenn zu jeder Beobachtung die gleiche Zeit verwendet wird, und je kürzer diese ist, desto richtiger wird die erstere. Bei einiger Uebung gelangt man leicht dahin, die Einstellung des Quecksilbers auf die untere Spitze I und diejenige der obern Spitze auf die Quecksilberkuppe in der Röhre G in 10 Sekunden auszuführen. Eine zweite Beobachtung, unmittelbar auf die erste folgend, fällt stets unrichtig aus. Zwei Beobachtungen müssen wenigstens eine Viertelstunde von einander abstehen, wenn die zweite irgend einen Werth haben soll.

Die Reduction des Barometerstandes auf 0° wird nach Angabe des Thermometers P mit Benutzung der gewöhnlichen Tabellen gemacht, nachdem der Barometerstand durch Multiplication des beobachteten h mit dem Coefficienten berechnet worden.

Zur Beurtheilung des Instruments giebt Brunner eine Reihe von täglichen Beobachtungen. Der constante Coefficient für sein Instrument war durch Vergleichung mit seinem Barometer gleich 4,428 bestimmt worden.

b am Instrument beobachtet. Millim.	Berechneter Barometerstand. Millim.	Beobachteter Barometerstand Millim.	Unterschied.
160,4	710,2	710,9	— 0,7
161,0	712,9	713,8	— 0,9
162,3	718,6	716,5	+ 2,1
161,5	715,1	713,5	+ 1,6
162,4	719,1	718,5	+ 0,6
162,3	718,6	718,7	— 0,1
163,1	722,2	721,8	+ 0,4
162,1	717,8	716,0	+ 1,8
161,0	712,9	711,9	+ 1,0
161,6	715,1	715,7	— 0,6

Die aus dieser Tabelle sich ergebende Genauigkeitsgränze läßt noch Einiges zu wünschen übrig. B. hat sich überzeugt, daß der Fehler wesentlich in der Temperaturveränderung der abgesperrten Luft während der, wenn auch noch so kurzen, Dauer des Versuches seinen Grund hat. Diesem Uebelstande kann dadurch abgeholfen werden, daß man die Röhre F mit einer zweiten Röhre umgiebt, deren Durchmesser um einen Centimeter weiter ist. Diese Röhre wird an die Beschläge E und H wasserdicht angekittet, wobei jedoch die Schnüre Q außerhalb bleiben müssen, und der ganze Zwischenraum wird mit Wasser angefüllt, welches bleibend in dem Instrument belassen wird, was dazu dient, die Einwirkung der Luftzüge ꝛc. zu moderiren und die Temperatur im Innern gleichmäßig zu erhalten. Schon eine Lufthülle, welche durch die zweite Röhre gebildet wird, leistet gute Dienste und möchte genügen. Die größere Schwerfälligkeit, welche das Instrument durch das Anbringen der äußern Röhre erhält, wird durch den Vortheil der größeren Genauigkeit aufgehoben.

Seit vier Jahren hat Brunner dieses Instrument beobachtet und mitunter auf Bergreisen mitgenommen, wo es wegen seiner leichten Verpackung und der Unveränderlichkeit große Dienste leistet. Wenn er selbst jedoch sein unparteiisches Urtheil abgeben sollte, ob dieses Instrument das Reisebarometer ersetzen könne, so muß er sich dahin aussprechen, daß für Denjenigen, welcher sich auf seinen Reisen den meteorologischen Beobachtungen unterzieht, die Zuverlässigkeit der Angaben ein viel zu wichtiges Moment ist, als daß sie, um eine Bequemlichkeit zu erlangen, aufs Spiel gesetzt werden dürfte. Es scheint ihm daher, daß, namentlich bei den neueren compendiösen Einrichtungen des Reisebarometers seine Sicherheit den Bequemlichkeiten des Taschenbarometers vorzuziehen sei. Diesem nämlichen Urtheile fallen das Baromètre anéroide, das Regnault'sche Hypsometer und alle die bisherigen sinnreichen Vorrichtungen anheim, welche zu verschiedenen Zeiten als Ersatz des Barometers vorgeschlagen worden sind.

G. Aneroid-Barometer.

§. 40.

Aneroid-Barometer von Vidi.

Vidi legte am 31. Mai 1847 der Pariser Akademie das erste Aneroid-Barometer (Baromètre anéroïde, in Compt. rendu. T. 24. pag. 975) vor, dessen Construction folgende ist: Es ist eine luftleer gemachte Metalldose, deren oberer Deckel so dünn ist, daß er dem atmosphärischen Drucke nachgiebt, so daß er sich dem Boden nähert oder sich davon entfernt, je nachdem dieser Druck zu- oder abnimmt. Durch diese Bewegung setzt der Deckel einen Zeiger in Bewegung, dessen Gang von einer, experimentell mit dem gewöhnlichen Barometer verglichenen, Kreistheilung angegeben wird. — Co-

vering (in Ann. Ch. Pharm. 66, pag. 133) hat Vergleichungen des Aneroid-Barometers mit dem Quecksilberbarometer angestellt und gefunden, daß der Stand des ersteren bei gewöhnlichen atmosphärischen Schwankungen immer etwas zu niedrig und nie ganz unabhängig von der Temperatur war. Die Correction betrug für 1 R etwa 0,0021 Zoll. Auch kehrte der Zeiger, wenn die Luft unter der Glocke der Luftpumpe verdünnt und dann wieder auf die frühere Dichte zurückgebracht wurde, nicht genau auf den vorigen Stand zurück, sondern wich bis zu 0,1 Zoll Barometerdruck davon ab. — Lovering hat schließlich eine von Dent (Silimann, Ann. Journ. (2) VIII. 288) publicirte Beschreibung und Abbildung des Aneroid-Barometers entlehnt. W. S. Moorsone hat in einer Schrift: On the practical un of the aneroid barometer as an orometer in Phil. Mag. (4) XVI. 304 die Nachtheile geschildert, die das Instrument bei Nivellirarbeiten auf Ceylon 1857, namentlich durch die verschiedenen Temperatureinflüsse zeigte. Indeß geben die Untersuchungen beider erwähnten Männer das Resultat, daß das Barometer sehr wohl von Schiffern, nicht zum Höhenmessen und genauen Nivelliren zu gebrauchen ist. — Aehnliche Untersuchungen, wie die von Moorson, sind auch von J. Schmidt in einer Abhandlung: Neue Höhenbestimmungen am Berno, nebst Untersuchungen über die Eigenschaften und Leistungen des Aneroid-Barometers, Wien und Olmütz 1856, veröffentlicht worden.

II. Metallbarometer.

Bourdon hat ein Barometer construirt, welches die Modificationen des Luftdruckes durch eine luftleere und gekrümmte Röhre anzeigt, also in mancher Beziehung an das Aneroid-Barometer erinnert. Wir finden Mittheilungen von ihm im Compt. rend. 37, pag. 656.

Auch G. Marguet hat Mittheilungen in dem Bulletin des séances de la Société vaudoise des sciences naturelles. Lausanne V, pag. 96, als Note sur le baromètre métallique inventé par M. Bourdon gemacht. Doch besitzen wir von Victor Pierre in den Abhandlungen der königlichen böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, 5te Folge, Bd. 11, über das Bourdon'sche Metallbarometer einen Aufsatz, der sich sowohl durch Ausführlichkeit, als auch durch Gründlichkeit vor allen bisher erschienenen Erläuterungen auszeichnet. Indem wir darauf speciell hinweisen und diesen werthvollen Aufsatz empfehlen, folgen wir ihm nur im Auszuge.

§. 41.

Bourdon's Metallbarometer.

Der Hauptbestandtheil des Instrumentes ist ein hohler, hermetisch verschlossener, und mit sehr verdünnter Luft gefüllter Ring von sehr dünnem Messingbleche (B A B', Fig. 4, Taf. XIV), dessen Querschnitt eine sehr gestreckte Curve (A D C B, Fig. 5, Taf. XIV) darstellt; diese Curve soll die Querschnittscurve genannt werden. Man kann sie als eine bezüglich der Axen A B und C D symmetrische ansehen, deren große Axe (A B) der Axe des Ringes (oder auch der Zeigeraxe) parallel gestellt ist, sonach in der Mantelfläche eines geraden Cylinders liegt, dessen Erzeugungscurve (b a b', Fig. 4, Taf. XIV) die Krümmungscurve des Ringes heißen soll.

Jeder durch den Ring senkrecht auf seine Axe geführte ebene Schnitt ergiebt zwei Durchschnittslinien mit den Ringwänden, welche im gleichen Abstande von der Krümmungscurve, und zwar die eine außerhalb, die andere innerhalb der letzteren verlaufen, und als äußere und innere Durchschnittscurve unterschieden werden. Die concave Seite der Ringoberfläche wird die innere, die convexe die äußere Ringfläche genannt.

Der Ring ist nahezu in der Mitte (bei A, Fig. 4, Taf. XIV) befestigt, in seiner ganzen übrigen Ausdehnung frei; jede Ringhälfte (A B und A B') entspricht einem Bogen von etwa 160 bis 170 Graden. Die freien Enden (B und B') sind mittelst zweier Gelenkstangen (B D und B' E) mit den Enden der Arme eines zweiarmigen Hebels (D E) verbunden, dessen Drehungsaxe (C) mit der Befestigungsstelle (A) und der Zeigeraxe (H) in einer den Ring in zwei symmetrischen Hälften theilenden Ebene liegt, deren Schnitt (A C) als Mittellinie bezeichnet erscheint. Mit dem Hebel ist der gezahnte Sector (G F G) in unveränderlicher Verbindung, und überträgt die durch den Luftdruck bewirkten Veränderungen in der Stellung des Hebels, mittelst des Zahnrades (H) auf den Zeiger (I K). Die Hemmung m beschränkt den Drehungswinkel des Hebels auf eine gewisse Anzahl Grade, wodurch auch die Zeigerbewegung auf bestimmte Gränzen beschränkt wird.

Ein mit dem Sector verbundenes Laufgewicht (L) kann so gestellt werden, daß der Einfluß der Schwerkraft bei hängender Stellung des Instrumentes eliminirt wird.

Die Untersuchung hat nun damit zu beginnen, den Zusammenhang zwischen der jedesmaligen Stellung des Zeigers (I K) und der Gestalt des Ringes abzuleiten; hierauf muß die Abhängigkeit dieser Gestalt von der Aenderung des Luftdruckes und der Temperatur nachgewiesen, und nöthigenfalls auf den Einfluß der bei der mechanischen Ausführung unvermeidlichen Abweichungen von den Annahmen der Theorie Rücksicht genommen werden.

Nimmt man an, die Befestigungsstelle des hohlen Ringes liege genau in der Mitte des Bogens, so daß beide Hälften desselben gleichen Mittelpunktswinkeln φ entsprechen: (also $A H B = A H B' = \varphi$) fällt ferner die Linie A C mit dem Durchmesser 2 r des kreisförmig gekrümmten Ringes zusammen; so ergiebt sich der Winkel a, welchen irgend einer der beiden Arme des Hebels

(z. B. C D mit der Mittellinie A C = a macht, aus folgendem:

Man setze:

$$\text{tang}\ \Theta = \frac{r \sin \varphi}{a - 2 r \sin \frac{\varphi^2}{2}}$$

$$s = \frac{r \sin \varphi}{\sin \Theta},$$

so ist, wenn man die Länge des Hebelarmes mit h, jene der zugehörigen Verbindungsstange (B D) mit l bezeichnet:

$$1.\ \cos (\Theta - a) = \frac{l^2 - h'^2 - s^2}{2 h s}.$$

Haben h', l' und a' für den zweiten Hebelarm (CE) dieselben Bedeutungen, wie h, l und a für den ersten, so ist:

$$2.\ \cos (\Theta + a') = \frac{l'^2 - h'^2 - s^2}{2 h' s}.$$

Unter der (übrigens nicht unerläßlichen) Voraussezzung eines geradlinigen Hebels ist a = a', und:

$$3.\ \text{tang}\, a = \frac{h' (l^2 - h^2) + h (l'^2 - h'^2) - (h' + h) s^2}{h' (l^2 - h^2) - h (l'^2 - h'^2) - (h' - h) s^2} \text{cotang}\ \Theta$$

für gegebene Werthe von r und φ ist somit a gegeben, und da die Winkelbewegung des Zeigers stets ein constantes Multiplum von jener des Hebels ist, so sind die den jedesmaligen Werthen von r und φ entsprechenden Zeigerstellungen gegeben, sobald die einem bestimmten Anfangswerthe von a entsprechende Stellung des Zeigers bekannt ist.

Pierre entwickelt nun den Fall, in welchem die Befestigungsstelle nicht genau in der Mitte des Bogens gelegen ist, und findet

$$\text{tang}\ a = \frac{h' + h}{h' - h} \text{cotang}\ \Theta.$$

Um die Abhängigkeit der Größen r und φ von den Aenderungen des Luftdruckes zu finden, sei r der Krümmungsradius für irgend ein Element der Krümmungscurve, und d φ der zugehörige Winkel am Krümmungsmittelpunkte, so entsprechen demselben die Elemente $(r + \Delta r)\, d\varphi$ an der äußeren und $(r - \Delta r)\, d\varphi$ an der inneren Durchschnittscurve. Dabei ist Δr die Ordinate eines Punktes der Querschnittscurve (Fig. 6. Tafel XIV), wenn die große Axe A B derselben als Abscissenaxe gewählt wird.

Ist ferner ds ein Bogenelement, der Querschnittscurve, so hat man die entsprechenden Flächenelemente der äußeren und inneren Ringfläche beziehlich gleich: $(r + \Delta r)\, d\varphi\, ds$ und $(r - \Delta r)\, d\varphi\, ds$.

Auf jedes solche Element wirkt ein Druck normal einwärts, der davon herrührt, daß die Spannkraft der äußeren Luft größer ist, als jene der in der Ringhöhlung zurückgebliebenen. Diesen Druckkräften, die auf alle Punkte der Ringoberfläche wirken, hält die Elasticität des Ringes das Gleichgewicht. Aendert sich aber bei constanter Temperatur der Luftdruck um die Größe p, so kömmt auf das Element der äußeren Ringfläche die Druckänderung $p\,(r + \Delta r)\, d\varphi\, ds$ und auf jenes der inneren die Aenderung $p\,(r - \Delta r)\, d\varphi\, ds$. Zerlegt man jede dieser Kräfte in zwei zu den auf einander senkrechten Hauptaxen der Querschnittscurve parallele Componenten, so trägt die der großen Axe parallele Componente direct nichts zur Veränderung der Krümmung des Ringes bei, sondern bewirkt nur eine Veränderung der Gestalt, der Querschnittscurve, während die der kleineren Axe parallele Componente, deren Richtung in den Krümmungsradius der Krümmungscurve fällt, ebensowohl die Querschnitts- als die Krümmungscurve des Ringes afficirt. Nimmt man an, daß die Wände des hohlen Ringes jeder Veränderung der Gestalt der Querschnittscurve wenigstens für die Aenderung des Druckes $= p$ hinreichend widerstehen, so hat man nur den Einfluß der letzteren Componente auf die Biegung des Rin-

ges allein zu berücksichtigen. — Sei nun β der Winkel zwischen dem Krümmungsradius der Durchschnittscurve und der auswärts gezogenen Normale der Querschnittscurve in dem Punkte, sowie erstere schneidet, so sind die auf ein Element der äußeren und inneren Ringfläche entfallenden Componenten beziehungsweise:

$$p\,(r + \triangle\, r)\cos.\ \beta\, d\varphi\, d s$$
und $$-\ p\,(r - \triangle\, r)\cos.\ \beta\, d\varphi\, d s.$$

Da unter der gemachten Voraussetzung $\triangle\, r$ constant bleibt, verhält sich die Sache gerade so, als ob diese zwei Kräfte an den Enden einer starren Linie von der Länge $2\,\triangle\, r$ wirken würden, und da man sodann ihre Resultirende:

$$d\,q = 2\,p\,\triangle\, r \cos\,\beta\, d\,\varphi\, d\,s$$

in einem beliebigen Punkte der Linie $2\,\triangle\, r$ angreifen lassen kann, versetze man ihren Angriffspunkt in die Mitte (M, Fig. 6, Taf. XIV) von $2\,\triangle\, r$, also an den Endpunkt des Krümmungshalbmessers r.

Da ferner:

$$\cos\,\beta = \frac{d\,x}{d\,s},$$

hat man:

$$d\,q = 2\,p\,\triangle\, r\, d\,\varphi\, d\,x.$$

In jedem Punkte der großen Axe der Querschnittscurve wirkt eine solche Kraft in der Richtung der Krümmungscurve nach einwärts, und da alle diese Kräfte parallel gerichtet sind, ist ihre Resultirende:

$$q = 2\,p\,d\,\varphi \int_{a}^{a} \triangle\, r\, d\,x$$

wenn man mit a die Länge der großen halben Axe der Querschnittscurve bezeichnet; es ist aber $2\int^{a}_{a} \triangle\, r\, d\,x$ die Querschnittsfläche des Ringes, wenn man daher diese mit Q bezeichnet, so ist:

$$4)\ q = p\,Q\,d\,\varphi$$

und der Mittelpunkt der Querschnittscurve ist zugleich der Angriffspunkt dieser Kraft q.

Da sonach in jedem Punkte der Krümmungscurve eine solche Kraft in der Richtung des Krümmungsradius nach einwärts wirkt, wird der nur an einer Stelle befestigte, im übrigen freie Ring eine Veränderung seiner Krümmung erfahren, durch welche alle Elemente der äußeren Durchschnittscurve Verlängerungen, die der inneren Verkürzungen erfahren. Auf diese Art aber werden in den elastischen Ringwänden Kräfte geweckt, welche den biegenden Kräften q entgegenwirken, und endlich mit diesen ins Gleichgewicht kommen.

Geht der Krümmungsradius r durch die Biegung in r′ und der Winkel $d\,\varphi$ in $d\,\varphi'$ über, so sind die durch die Biegung geweckten Elasticitäten:

$$K\,\frac{(r' + \Delta\,r)\,d\,\varphi' - (r + r\,\Delta\,d\,\varphi)}{(r + \Delta\,r)\,d\,\varphi}\,d\,s =$$

$$K\,\frac{r'\,d\,\varphi' - r\,d\,\varphi + \Delta\,r\,(d\,\varphi' - d\,\varphi)}{(r + \Delta\,r)\,d\,\varphi}\,d\,s$$

an dem äußeren, und

$$K\,\frac{(r - \Delta\,r)\,d\,\varphi - (r' - \Delta\,r)\,d\,\varphi'}{(r - \Delta\,r)\,d\,\varphi}\,d\,s =$$

$$K\,\frac{r\,d\,\varphi - r'\,d\,\varphi' + \Delta\,r\,(d\,\varphi' - d\,\varphi)}{(r - \Delta\,r)\,d\,\varphi}\,d\,s$$

an dem inneren Ringflächenelemente. Man kann diese Kräfte als solche ansehen, welche die Linie $2\,\Delta\,r$ um ihren Mittelpunkt zu drehen suchen, und hat, weil $r\,d\,\varphi = r'\,d\,\varphi'$, für das entsprechende Drehungsmoment den Ausdruck:

$$d\,M = 2\,K\,r\,\frac{d\,\varphi' - d\,\varphi}{(r^2 - \Delta\,r^2)\,d\,\varphi}\,\Delta\,r^2\,d\,s$$

oder wenn man berücksichtigt, daß $\Delta\,r$ immer nur sehr

klein ist im Vergleiche mit r (höchstens ist $\triangle r$ etwa $\frac{1}{30}$ von r), so erhält man:

$$d M = 2 K \frac{d \varphi' - d \varphi}{r d \varphi} \triangle r^2 d s.$$

Das Moment, in welchem in Folge der Drehung in der äußeren und der Stauung in der inneren Ringfläche ein bestimmter Querschnitt um seine große Axe gedreht wird, ist sonach:

$$M = 2 K \frac{d \varphi' - d \varphi}{r d \varphi} \int \triangle r^2 d s$$

wobei das Integral nur auf den halben Umfang der Querschnittscurve auszudehnen ist. Bezeichnet D die Dichte des Stoffes, aus welchem die Röhre verfertigt ist, so ist das über den ganzen Umfang der Querschnittscurve ausgedehnte Integral:

$$\int D \triangle r^2 d s = T$$

das Trägheitsmoment dieser Curve bezüglich ihrer großen Axe, und weil man D immerhin als constant ansehen kann, ist:

$$2 \int \triangle r^2 d s = \frac{T}{D}$$

wobei aber das Integral nur auf den halben Umfang der Querschnittscurve auszudehnen ist. Daraus folgt:

$$5. \quad M = K \frac{T}{D} \frac{d \varphi' - d \varphi}{r d \varphi}.$$

Dieses Drehungsmoment muß nun gleich sein demjenigen, mit welchem derselbe Querschnitt durch die Kraft q gedreht wird. Letzteres Drehungsmoment ist aber:

$$\tfrac{1}{2} q r' d \varphi'$$

wodurch man den Werth von q aus der Gleichung (4) substituirend:

$$d \varphi' - d \varphi = \frac{p Q D}{2 K T} r d \varphi r' d \varphi' d \varphi \text{ erhält.}$$

Es hat jedoch eine Temperaturänderung aus mehreren Gründen einen Einfluß auf die Angaben des Bourdon'schen Barometers.

Um diesen Einfluß zu beurtheilen, hat man zu bedenken, daß eine Aenderung der Temperatur erstens den Elasticitätscoefficienten des Metalles, aus welchem der Ring verfertigt ist, und somit die Größen C oder C' modificirt; daß zweitens dadurch die Spannkraft der in der Höhlung des Ringes zurückgebliebenen Luft verändert wird, und endlich drittens die Metallbestandtheile des Mechanismus und der Ring selbst Veränderungen ihrer Dimensionen erleiden.

Daß von allen diesen Veränderungen, die durch die Temperaturveränderungen hervorgebracht werden, die zweitgenannte von überwiegendem Einflusse sei, ergiebt sich schon daraus, daß die Bewegungen des Zeigers jedesmal in dem Sinne erfolgen, wie dieß durch die Spannkraftsänderung der im Ringe abgesperrten Luft gefordert wird, sobald man das Instrument bei möglichst gleichbleibendem Drucke verschiedenen Temperaturen aussetzt.

Der Einfluß auf den Elasticitätscoefficienten kann jedenfalls vernachlässigt werden, so lange man das Instrument nicht allzu extremen Temperaturen aussetzt, also innerhalb der gewöhnlichen Gränzen der Lufttemperatur bleibt. Die Ausdehnung und Zusammenziehung der Metallbestandtheile des Mechanismus ist aber ohne Einfluß auf die Zeigerbewegungen, so lange man überhaupt die Temperatur in allen Theilen des Instrumentes gleich annehmen darf.

Es wird nämlich bei jeder Aenderung der Temperatur jedes Element der Krümmungscurve, von der nur ein einziger Punkt fix zu denken ist, nur im Sinne seiner Länge verkürzt oder verlängert, der Contingenzwinkel $d\varphi$ aber nicht geändert; es ist daher, wenn λ der Ausdehnungscoefficient des Metalles ist, aus welchem der Ring gearbeitet ist, die Länge des Curvenelements ds bei 0^0, in $ds\,(1 + \lambda t)$ übergegangen, wenn die

Temperatur von 0^0 auf t^0 gestiegen ist, und wenn $d\,s = r\,d\,\varphi$ ist, und $d\,\varphi$ sich nicht ändert, so ist die Länge des Elementes bei t^0

$$r\,(1 + \lambda\,t)\,d\,\varphi$$

d. h. es wird der Krümmungsradius in $r\,(1 + \lambda t)$ übergehen, der Winkel φ aber ungeändert bleiben. Wie man sich aber durch einen Blick aufs Frühere überzeugt, wird dadurch der Werth von a nicht geändert; indem man nämlich, wenn die Formeln für die Temperatur von 0^0 gelten, bei t^0 statt der Größen t und a blos $r\,(1 + \lambda t)$ und $a\,(1 + \lambda\,t)$ zu setzen hat, verwandelt sich auch s in $s\,(1 + \lambda t)$, während der Ausdruck für tang. Θ keine Veränderung erfährt; und da überdies auch l und h in $l\,(1 + \lambda\,t)$ und $h\,(1 + \lambda t)$ übergehen, bleibt auch cos. $(\Theta - \alpha)$ und somit auch α von der Temperatur unabhängig. Man kann nun auch die Spannkraftsänderung der in dem Ringe zurückgebliebenen Luft in Betracht ziehen, und diese wird sich um so mehr geltend machen, je weniger weit die Verdünnung der Luft von dem Verfertiger des Instrumentes getrieben wurde. Der Einfluß derselben auf die Zeigerbewegungen kann daher bei verschiedenen Instrumenten sehr verschieden ausfallen.

So lange nun Druck und Temperatur nur geringeren Schwankungen unterliegen, ist die Aenderung des Winkels α immer nur sehr klein; an dem mehrerwähnten Instrumente von 12 Centimeter Ringdurchmesser z. B., entspricht einer Drehung des Zeigers um 10^0, d. h. einer Druckänderung von beiläufig einer Pariser Linie eine Aenderung des Winkels α um nicht ganz einen halben Grad (25 Min.) Wenn daher bei einem gegebenen Barometerstande b_0 und bei der Temperatur t_0 der Zeiger des Bourdon'schen Barometers die Ablesung B gab, so wird bei dem nur wenig geänderten Drucke b' und und der nur wenig von t_0 verschiedenen Temperatur t' dasselbe Instrument die Ablesung:

$$B' = B_0 + \triangle\,B$$

geben; da die Scale desselben stets so eingerichtet ist, daß die volle Peripherie des Kreises in N gleiche Theile getheilt erscheint (wobei die Theile gewisse Längeneinheiten repräsentiren), so ist, wenn m die Zahl bedeutet, welche anzeigt, in welchem Verhältnisse die Winkelbewegung des Zeigers größer ist als jene des Hebels,

$$\triangle B' = \frac{m N}{2 \pi} \triangle \alpha$$

wobei $\triangle \alpha$ die zu $\triangle B$ gehörige Aenderung von α ist.

Es ist ein erheblicher Mangel der im Handel vorkommenden Instrumente, daß sie mit keinem Thermometer im Inneren des metallenen Gehäuses versehen sind, da dasselbe, wie schon Jul. Schmidt richtig bemerkte, für die Anwendbarkeit des Instrumentes zu wissenschaftlichen Zwecken unerläßlich, und nicht Jedermann in der Lage ist, ein richtiges und hinreichend empfindliches Thermometer nachträglich anbringen zu lassen. Das Gehäuse aber zu öffnen, um der äußeren Luft freien Zutritt zum Inneren zu gewähren und dadurch eine Ausgleichung zwischen der Temperatur des Instrumentes und jener der Umgebung herbeiführen zu wollen, dürfte unter keinen Umständen zu empfehlen sein.

J. Thermobarometer.

§. 42.

Thermobarometer von Wollaston und Regnault.

De Luc (in seinen Untersuchungen über die Atmosphäre, Leipzig 1778) wies zuerst auf seiner Reise nach dem Mont-Buet im Jahre 1770 nach, daß der Siedepunkt sich um so mehr erniedrige, je höher man steige. Wollaston in Phil. Trans. for 1718 benutzte zuerst diese Wahrheit, um darauf gestützt ein Thermobarometer zu construiren. Das Instrument (Taf. XIV, Figur 7) besteht aus einem genauen Barometer, dessen ein-

zelne Grade eine Länge von 2 bis 3 Centimeter haben. Die Theilung beginnt in der Regel erst bei höheren Graden, etwa bei 80°, und geht wenige Grade über 100 hinaus. Zu dem Ende ist die Röhre bei c kugelförmig erweitert, damit bei 80° erst das Quecksilber aus der Kugel heraus und in die Röhre treten kann. Jeder Grad ist in viele gleiche Theile getheilt. Das Thermometer kann auf ein Kochgefäß von Metall bb, in dem sich destillirtes Wasser befindet, geschraubt werden, so daß das Wasser durch eine Weingeistlampe ins Sieden gebracht, mit seinen Dämpfen die Quecksilberkugel umspült. Die überschüssigen Dämpfe werden durch das Rohr d entfernt. Nach den folgenden Tafeln kann man nun aus den Temperaturen die betreffenden Höhen berechnen. — Diese Tafeln rühren von Regnault her, der ebenfalls ein Thermobarometer construirt hat, das im Allgemeinen Aehnlichkeit mit der Wollaston'schen hat, nur bequemer und transportabler ist, da er aus mehreren ineinander zu schiebenden Messingröhren besteht, deren unterste gleichzeitig als Siedegefäß gebraucht werden kann, während die oberste den das Quecksilber ausdehnenden Dampf herausläßt. Regnault's Apparat finden wir ausführlich in Ann. chim. phys., Tom. 14. pag. 196, und in Pogg. Ann. 67. pag. 384. Zeigt das Thermometer am Fuße des Berges die Siedehitze t und am Gipfel t' an und sind die nach Regnault in den folgenden Tafeln angegebenen Barometerstände e und e', so ist die Höhe des Berges h = 18382 (log e — log e') Meter.

t°	e in Millim.	t°	e in Millim.	t°	e in Millim.	t°	e in Millim.	t°	e in Millim.
86,6	461,10	91,0	545,78	94,5	622,17	98,0	707,26	98,7	725,35
87,0	468,22	91,5	556,19	95,0	633,78	98,1	709,82	99,0	733,21
87,5	477,38	92,0	566,76	95,5	645,57	98,2	712,39	99,5	746,50
88,0	486,69	92,5	577,50	96,0	657,54	98,3	714,97	100,0	760,00
88,5	496,15	93,0	588,41	96,5	669,69	98,4	717,56	100,1	762,73
90,0	525,45	93,5	599,49	97,0	682,03	98,5	720,15	100,5	773,71
90,5	535,53	94,0	610,74	97,5	694,56	98,6	722,75	101,0	787,63

§. 43.

Apneumatischer tragbarer Thermobarometer mit konischem Läufer von Porro.

Echo du monde savant 1841, № 650, und Dingler, Journal, Bd. 81.

Wir lassen noch die Beschreibung eines hierher gehörigen Apparates folgen, der in demselben Verhältniß zu dem Wollaston's und Regnault's steht, wie die tragbaren Barometer zum Fortin'schen. —

Nach dem Biegen eines heberartigen Barometers schneidet man den niederern Schenkel desselben 3 oder 4 Centimeter über der besagten Biegung ab und zieht ihn in ein Haarröhrchen aus, fügt an diesen niederen Schenkel eine gewöhnliche, 2 Centimeter im Durchmesser weite Kugel, welche unten mit einem Halse endigt, der auf den kegelförmigen Theil der so ausgezogenen Spitze durch Schmirgeln passend gemacht und derart angekittet wird, daß diese bis in die Mitte der Kugel reicht. An der Stelle, wo das niedere Ende des kleineren Schenkels sich mit der Kugel zusammenfügt, ist eine Verengerung, welche beim Transport ein Stopfer von Kautschuk verschließt, der sich an der Spitze eines Stahlstäbchens befindet, das durch den Boden eines auf der obern Oeffnung des besagten Schenkels umgestürzten Schälchens in den Schenkel reicht. Quecksilber ist in solcher Quantität vorhanden, daß, wenn der Barometer gehörig niedergehalten ist, die Kugel sich mit Quecksilber füllt, und allemal ein Luftbläschen zuläßt.

Man wird leicht einsehen, daß die Elasticität dieser Luft dem Quecksilber gestattet, sich nach Belieben auszudehnen oder zusammenzuziehen; es ist aber unmöglich, daß diese kleine Quantität Luft, welche sich, so oft der Barometer geöffnet oder wieder geschlossen wird, verändert, je in das Innere der Barometerröhre dringe, weil durch das Gesetz der Schwere die capillare Spitze im-

mer in das Quecksilber taucht, woraus folgt, daß die Leere des Barometers der Luft unzugänglich ist, was die Bezeichnung dieses Barometers mit dem Worte apneumatisch rechtfertigt. Das erwähnte umgestürzte Schälchen verhindert jeden Verlust an Quecksilber, im Falle aus Versehen etwas über dem Stopfer geblieben wäre, welcher selbst wieder, der bessern Sicherheit wegen, wenn der Barometer geschlossen ist, beständig mittels eines elastischen Hakens zusammengedrückt wird.

Lange Erfahrung hat die Ueberzeugung gewährt, daß ein so construirter Barometer bei jeder beliebigen Transportweise eine Reise mitmachen kann, ohne daß man andere Vorsicht dabei beobachten muß, als welche die Zerbrechlichkeit des Glases erfordert, und daß er im geschlossenen Zustande die stärksten Temperatur-Veränderungen ohne Schaden ertragen kann.

Nachdem Porro nun einen apneumatischen, d. h. der Luft unzugänglichen und sehr gut tragbaren Barometer besaß, wandte er den Barometer viel öfter zum Nivelliren an, als er es je that.

Das Instrument leistete ihm sehr gute Dienste zu Straßen-Entwürfen auf Bergen und bei topographischen Arbeiten; doch fand er bald eine Quelle für Irrthümer in den Beobachtungen, welche vorzüglich dann von Belang werden konnten, wenn er, von der Zeit gedrängt, sich auf jeder Station nur einige Minuten aufhalten konnte; dies war nämlich die ungleiche Ausdehnung der verschiedenen Theile der Barometersäule durch die Anlegung der Hand des Trägers und anderer Umstände.

Auf folgende Art half Porro diesem Fehler jedes Heberbarometers, also auch des seinigen ab, welcher letztere sich von jenen durch nichts als die Dazwischensetzung der oben beschriebenen Kugel unterscheidet.

Oberhalb der Barometerröhre, in Bezug auf den Beobachter, brachte er eine kleine Messingröhre horizontal an, welche an den Läufer anliegt, der den Nonius trägt, und von der Achse der Barometerröhre an gerechnet, 3 bis 4 Centimeter lang ist. Jene Röhre enthält

gegen ihre Mitte eine convex-concave Linse, deren Brennpunkt ungefähr das Viertel der erwähnten Länge beträgt. Die äußere Oeffnung der Röhre ist mit einem matten Glase verschlossen, unter welchem sich auf einer Blendung ein Spinnenfaden horizontal ausgespannt befindet; alles dieses ist so vorgerichtet, daß das Bild des Spinnenfadens durch die Linse genau in die Achse der Barometerröhre fällt; dieses Bild ist es, welches man zur Tangente des Meniskus macht, und welches dem Läufer die Bezeichnung: ikonisch giebt.

Der Barometer des P. Porro hat zwei solche ikonische Läufer, welche am Barometer von Oben bis hinunter und zurückgeschoben werden können, um dadurch die Zurechtstellung des Fadens in Bezug auf das Null des Nonius möglich zu machen und um ihn, wenn man will, viermal beobachten zu können, wo dann die Mittelzahl die annäherndste sein wird.

Auch J. D. Forbes in Edinbourgh Journ. (27). pag. 174 f. hat eine hypsometrische Formel aufgestellt. Bezeichnet man die Siedepunktserniedrigung durch F in Fahrenheit'schen Graden, die Höhe h in englischen Füßen, so ist nach seiner Angabe h = 585 F für Höhen unter 12000' englisch, ausreichend, hingegen h = 517 F + T² für alle Fälle genügend.

Soret in Arch. phys. nat. 30. pag. 290, hat genau die Hypsothermometer von Forbes und Regnault geprüft und giebt dem Instrumente des letztern den Vorzug, hält aber die einfache Formel von Forbes zweckmäßig, der er folgenden numerischen Ausdruck giebt: $h = 294^m \cdot F$, wenn F die Siedepunktdifferenz der beiden Stationen in Graden von Celsius und h die Höhendifferenz in Metern bedeutet. Damit noch die Correction der Lufttemperatur wegen das Resultat genauer macht, schlägt Soret vor: den tausendsten Theil der Höhendifferenz mit der doppelten Summe der Temperaturen an den beiden Stationen zu multipliciren. Die Correction ist positiv oder negativ, je nachdem die Temperaturensumme das eine oder das andere Zeichen

hat. — Auch J. J. Pohl (in Wiener Berichten 26, p. 229) hat interessante Untersuchungen in seiner Schrift „Ueber den Gebrauch des Thermohypsometers zu chemischen und physikalischen Untersuchungen“ hierüber veröffentlicht.

§. 44.

Hydrobarometer von Walferdin.

Walferdin hat in Compt. rend. 32, p. 138 eine Modification der bisher besprochenen Hypsothermometer angegeben. Das Instrument hat Aehnlichkeit mit dem früher besprochenen Maximumthermometer Walferdin's mit der am obern Ende erweiterten Kammer (thermomètre à maxima à diversement) und ist von Walferdin Hydrobarometer genannt. Man setzt zunächst das Thermometer der Temperatur der Meeresoberfläche aus und liest den Quecksilberstand ab, versenkt dann dasselbe Thermometer in die zu messende Tiefe und schließt aus der Differenz im Quecksilberstande auf den Druck, dem das Instrument ausgesetzt war. Aus dem Drucke berechnet man die Tiefe, denn der Druck bewirkt, daß das Quecksilber aus der Kugel getrieben nicht nur in die Röhre, sondern auch oben in die Kammer fließt.—

Durch eine ähnliche Vorrichtung hat auch Walferdin in Instit. 1854, S. 264 die Construction des Hypsothermometers modificirt, indem er — damit nicht durch die Abkühlung der siedend heißen Dämpfe Fehler entstehen — das Thermometer so construirt, daß die Röhre durch eine eingeschaltete weitere Kammer in zwei Abtheilungen getheilt ist. Die untere Kammer dient zur Controllirung des Eispunktes, der Quecksilberspiegel tritt dann in die weitere Kammer, und dann erst bei den Siedepunktsbestimmungen in die obere enge Röhre, in welcher ein Grad die Länge von 18 Millimeter einnimmt, also noch Theile genau schätzen läßt. —

Barometrische Höhenmessung.

§. 45.

Grundsätze zur Theorie des Barometers.

1) Sind E' und E'' die Expansivkräfte, V', V'' die Volumina, D' und D'' die Dichtigkeiten, S' und S'' die specifischen Gewichte einer Luftmasse in verschiedenen Zuständen, B' und B'' die Barometerstände oder Quecksilberhöhen, denen die Luft das Gleichgewicht hält, so ist nach Boyle (Mariotte)

$$E' : E'' = V'' : V'$$
$$D' : D'' = S' : S'' = V'' : V'$$
$$E' : E'' = D' : D'' = S' : S''$$

und auch, da die Expansionskräfte durch Quecksilberhöhen gemessen werden,

$$B' : B'' = V'' : V'$$

wo überall gleiche Temperaturen vorausgesetzt werden.

2) Die Expansionskräfte einer Luftmasse verhalten sich wie ihre Temperaturen nach dem Luftthermometer (T' und T'').

$$a)\ E' : E'' = T' : T''$$
$$b)\ V' : V'' = T' : T''$$

$$V'' = \frac{T''}{T'} V'$$

Von der Richtigkeit der Proportion (b) überzeugt man sich folgendermaßen:

Bei unveränderlichem Volum gehe die Luft von der Temperatur T' in die von T'' über, so geht auch E' in E'' über. Bleibt nun T' unverändert, während die Luft sich so weit ausdehnt, daß sie wieder die frühere Expansionskraft E' annimmt, so ist

$$E' : E'' = V'' : V'$$

mit (a) combinirt

$$E' : E'' = V'' T' : V' T''.$$

Für $E' = E''$ ist

$$V'' T' = V' T'' \text{ oder}$$

$$V'' : V' = T'' : T'.$$

Ist also V' das Luftvolum beim Gefrierpunkte des Wassers, also bei $213\frac{1}{3}°$ Luftthermometer, so ist es bei $T°$

$$V'' = \frac{T}{213\frac{1}{3}} V'.$$

3) Die absoluten Gewichte eines gegebenen Volumens Luft verhalten sich wie ihre Dichtigkeiten oder Barometerstände (wenn dieselbe Temperatur bleibt):

$$G' : G'' = B' : B''$$

$$G' = \frac{B'}{B''} G''.$$

Da nun das Gewicht eines Cubikfußes Luft bei 0° und 28″ Barometerstand $2\frac{3}{4}$ Loth wiegt, so wiegen V Cubikfuß bei B Zoll Barometerstand und 0° Temperatur

$$G = \frac{B}{28} \cdot V \cdot 2\tfrac{3}{4} \text{ Loth}$$

bei $T°$

$$G = \frac{B \cdot 213\frac{1}{3}}{28 \cdot T} V \cdot 2\tfrac{3}{4} \text{ Loth.}$$

Setzt man nun den Ausdehnungscoefficienten $\alpha = 0{,}00375$ so ist nach Anhang §. 1

$$V_t = (1 + \alpha t) V_0.$$

Somit

$$S_t : S_0 = V_0 : V_t = 1 : 1 + \alpha t.$$

Folglich

$$G = \frac{1}{1 + \alpha t} V_0 \cdot 2\tfrac{3}{4} \text{ Loth.}$$

Oder mit Rücksicht auf den Luftdruck

$$G = \frac{BV}{28(1+\alpha t)} \, 2\tfrac{1}{4} \text{ Loth.}$$

4) In einer ruhigen Luftsäule, deren Temperatur überall dieselbe, nehmen die Expansionskräfte von unten nach oben in geometrischen Progressionen ab.

Man denke sich die Luftsäule von unten nach oben hin in gleiche Schichten getheilt (couches de niveau), so ist einzusehen, daß zwei übereinander liegende Schichten im Zustande des Gleichgewichts nicht gleiche Dichtigkeit haben können, denn die untere Schicht drückt vermöge ihrer Expansionskraft gegen die obere, diese vermöge der Expansionskraft und Schwere gegen die untere, also muß die Dichtigkeit der obern Schicht kleiner als die der untern sein. Der Druck auf die Grundfläche jeder Schicht ist gleich dem Gewichte der ganzen darüber stehenden Luftsäule. Nennt man nun die verschiedenen Drücke auf die von unten nach oben hin folgenden Schichten

$$G_1 \; G_2 \; G_3 \; \ldots\ldots \; G_{n-1} \; G_n$$

so sind die Gewichte der Luftmassen in den einzelnen Schichten:

$$G_1 - G_2, \; G_2 - G_3 \; \ldots\ldots \; G_{n-1}, \; G_n.$$

Sind die couches de niveau so enge gelagert, daß man sich die Dichtigkeit der Luft in der ganzen Ausdehnung einer Schicht als constant denken kann, so ist

$$G_1 - G_2 : G_2 - G_3 = G_2 : G_3$$

also $\quad G_1 - G_2 + G_2 : G_2 - G_3 + G_3 = G_2 : G_3$

d. h. $\quad G_1 : G_2 = G_2 : G_3$

ferner ebenso $\quad G_2 : G_3 = G_3 : G_4$

Allgemein $\quad G_1 : G_2 = G_{n-1} : G_n$

$$G_n = \frac{G_2}{G_1} \, G_{n-1}.$$

Setzt man nun das Verhältniß $\frac{G_2}{G_1} = q$ und für n der Reihe nach die Zahlenwerthe 1, 2, 3 u. s. f., so erhält man

$$G_1 = q G_0$$
$$G_2 = q G_1 = q^2 G_0$$
$$G_3 = q G_2 = q^3 G_0$$
$$G_n = q G_{n-1} = q^n G_0.$$

Nun verhalten sich die Gewichte $G_1 G_2 \ldots G_n$ der verschiedenen Luftsäulen wie die durch sie erzeugten Dichtigkeiten und diese wieder wie die Expansionskräfte der Luft in den Einzelnen Schichten, also ist

$$E_1 : E_2 = E_2 : E_3$$
$$E_2 : E_3 = E_3 : E_4 = E_{n-1} : E_n.$$

Oder $E_1 = q E_0$
$$E_2 = q^2 E_0$$
$$E_n = q^n E_0.$$

Dieselbe Progression kann man nun aber auch für die Barometerstände setzen, also

$$B_1 : B_2 = B_2 : B_3 = B_3 : B_n = B_{n+1} : B_n$$
somit $B_n = q^n B_0$.

Hieraus folgt, daß die Barometerstände in verschiedenen Höhen sich umgekehrt wie die Höhen verhalten, um welche man von verschiedenen Standpunkten steigen muß, damit das Barometer um eine gegebene Größe falle, d. h. $B_1 : B_2 = H_2 : H_1$.

§. 46.

Bestimmung des Druckes der Barometer-Quecksilbersäule und Messung des Luftdruckes.

Wir haben schon früher beim Gefäßbarometer gezeigt, daß der Luftdruck durch die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohre gemessen wird, so daß, wenn die Luft trocken (also schwerer) das Quecksilber in der Röhre steigt, umgekehrt bei leichter also feuchter Luft fällt. Daß also das Barometer eine Waage, ist leicht

einzusehen, indem die Luft als die zu wägende Materie auf der einen Waagschale gleichsam ruhend (seinen Druck ausübend) das Quecksilber in der Säule aber als das Gewicht, wachsend oder fallend angesehen werden kann. —

Bezeichnen wir nun durch q die Dichtigkeit des Quecksilbers, mit h die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre, so ist der Druck, welcher von der Quecksilbersäule ausgeübt wird, indem wir mit g die Fallgeschwindigkeit bezeichnen:

$$p = q\,h\,g.$$

Die Höhe h wird durch eine Scale gemessen, die neben der Röhre sich befindet, und in Zoll und Linien ausgedrückt. Diese Scale ist von Metall und dehnt sich bei erhöhter Temperatur aus, so daß die Lupe, die daran befestigt, ebenfalls gehoben und eine ungenaue Ablesung erfolgt. Ist also die wirkliche Höhe h, so ist die abgelesene h' (1 + m t) wo m t der Ausdehnungscoefficient bei Temperatur t ist und m von der Materie, aus der die Scala gefertigt, abhängt, also z. B. der Ausdehnungscoefficient von Messing bei 1° ist.

Ist q¹ die Dichtigkeit, die das Quecksilber bei 0° besitzt, so haben wir diese, da sie bei höheren Temperaturen abnimmt, durch 1 + v t zu dividiren, wo v die cubische Ausdehnung des Quecksilbers bezeichnet. Also wird

$$q = \frac{q'}{1 + vt}$$

somit verändert sich die ursprüngliche Gleichung in:

$$p = q'\,h'\,g\left(\frac{1 + mt}{1 + vt}\right)$$

Dieser Coefficient $\frac{1 + mt}{1 + vt}$ heißt die Reduction der beobachteten Barometerröhre auf 0°.

Wir haben nun noch die Reduction für g zu bestimmen.

Bezeichnen wir g unter dem Aequator durch g_a und die geographische Breite durch φ, so ist, wenn 0,0052005 dem Abplattungscoefficienten $\frac{1}{288,44}$ entspricht

$$g = g_a \left\{1 + \frac{\sin 2\varphi}{192,2}\right\} = g_a \left\{1 + 0,0052005 \sin 2\varphi\right\}$$

Führt man statt des sinus den cosinus ein, statt g_a die Schwerkraft für $\varphi = 45^0$, so ist

$$g = g_{45^0} \left\{1 - \frac{\cos 2\varphi}{385,3}\right\} = g_{45} \left\{1 - 0,0025935 \cos 2\varphi\right\}$$

Und bezeichnet Z die Höhe der Quecksilbersäule über dem Niveau des Meeres und R den Erdhalbmesser, so ist:

$$P = q\,h\,g_{45^0} \left\{\frac{1 + mt}{1 + vt}\right\} \left\{1 - \frac{\cos 2\varphi}{385,4}\right\} \left\{\frac{R}{R + Z}\right\}^2$$

Hierzu tritt noch die Correction des Barometerstandes wegen der Schwere (Vergleiche Pogg. Ann. Bd. 37, S. 468 und Bd. 42, S. 479, ferner Ramond: Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique céleste. Clermont-Ferrand 1811, p. 45 ff.

Sie ist unter 45° Breite subtractiv über 45° Br. additiv.

Barometerstand bei 0° in Pariser Linien.

	338.	334.	
0	0,874	0,864	90
5	0,861	0,851	85
10	0,822	0,812	80
15	0,757	0,749	75
20	0,670	0,662	70
25	0,563	0,556	65
30	0,438	0,433	60
35	0,300	0,296	55
40	0,152	0,150	50
45	0,000	0,000	45

§. 47.

Die Höhenmessung durchs Barometer.

Wir erinnern an das früher Gesagte, daß wir nur die Luftschicht, welche die Erde umgiebt, in couches de niveau getheilt denken. Denken wir uns zwei solcher nebenanliegender Schichten, so wird der Druck in der obern b geringer sein als in der untern a und zwar um das Gewicht einer Luftsäule, deren Basis gleich der Einheit der Fläche und deren Höhe die Länge ab ist.

Die Dichtigkeit der zwischen a und b enthaltenen Luft sei δ, ferner sei p die Höhe des Quecksilberstandes auf der Höhe z vom Niveau des Meeres an gerechnet. Wächst nun die Höhe zum dz, so nimmt p um dp ab und somit ist die Relation zwischen $z + dz$ und $p - dp$ oder zwischen dz und $-dp$ zu finden, also zu suchen um wie viel das Quecksilber fällt, wenn man sich zu einer bestimmten Höhe erhebt. Nach diesen Bezeichnungen ist nun das Gewicht der Luftsäule

$$g_1 \delta\, dz.$$

Oder $-dp = g_1 \delta\, dz$.

Es war im vorigen §.

$$p = h\, g_1\, q$$

somit $\qquad dp = g_1 q\, dh.$

Also auch

$$q\, dh = -\delta\, dz.$$

Setzen wir $\delta = \frac{1}{773,5}$, $q = 13,6$ und nehmen an, daß wir so hoch gestiegen, daß dh eine Linie $= \frac{1}{144}$' betrage, so ist

$$-dz = \frac{13,6 \cdot 773,5}{144} = 73,051$$

Hat man also diese Höhe erreicht, so fällt das Quecksilber um eine Linie. In dieser Höhe ist δ con-

stant angenommen und auch wohl ohne einen Fehler zu begehen, indeß allgemein ist $\delta = f\,(h, z)$ und zwar ist

$$\delta = \frac{\delta' h}{H}$$

wo δ' die Dichtigkeit der Luft am Meeresniveau bei $\varphi = 45^{0}$ und $H = 0{,}76^{m}$ bezeichnet. Somit wird vollständig bestimmt:

$$\delta = \frac{\delta' h}{H} \frac{\left(1 - \frac{\cos 2\varphi}{385{,}4}\right)}{(1 + v\,t)} \left(\frac{R'}{R + Z}\right)^{2}$$

und es ergiebt sich

$$\frac{H \cdot \frac{q}{\delta'} \frac{d\,h}{h}}{\left(1 - \frac{\cos 2\varphi}{385{,}4}\right)} = - \frac{d\,z \left(1 - \frac{2Z}{R}\right)}{1 + v\,t}$$

Hier sind nun noch zwei Schwierigkeiten zu beseitigen. Die Temperatur ist in allen Luftschichten nicht dieselbe, sondern sehr variabel. Man kann sie auch natürlich nie bestimmen, da sie ja jeden Augenblick mit den herrschenden Luftströmungen sich ändert. Man hilft sich dadurch, daß man von der unten und oben beobachteten Temperatur das Mittel nimmt.

$$T = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Ferner hängt die Dichtigkeit δ auch von dem Wasserdampfgehalt der Luft ab, doch lassen wir diesen unberücksichtigt.

Führen wir nun diese Bedingung der Temperatur in die letzte Gleichung und integriren, so erhalten wir

$$\frac{(1 + vT)\, H \frac{q}{\delta'}}{1 - \frac{\cos 2\varphi}{385{,}4}} \log \frac{h_n}{h} + C = - Z + \left(\frac{Z}{R}\right)^{2}$$

wo h_n die Barometerhöhe am Fuße des resp. Berges und h die obere bedeutet. — Eine andere Form stellt die Gleichung dar:

$$\frac{\dfrac{H\dfrac{q}{\delta'}(1+vT)\cdot\log\dfrac{h_n}{h}}{1+\dfrac{\cos 2\varphi}{385{,}4}}}{\left(1+\dfrac{Z+Z_n}{R}\right)}=Z-Z_n.$$

Die Constante ist hier dadurch bestimmt, daß man für die Barometerhöhe die der obern und untern Station genommen hat. Für q ist nach Brisson 13,59606, nach Regnault 13,59593 zu setzen.

Was nun die Größe $\frac{q}{\delta'}$, die man den Barometercoefficient nennt, betrifft, so ist er von Biot und Arago bestimmt gleich 56381,7
von Regnault 56656,8
von Ramond 56446.

Man könnte hier allerdings seine Verwunderung darüber aussprechen, daß diese so häufig gebrauchte Constante so verschiedene Werthe habe und nicht genau bestimmt sei. Indeß wir deuteten schon vorher an, daß der Feuchtigkeitszustand der Luft und die Temperatur so veränderlich wären, daß absolut genaue Bestimmungen dadurch sehr erschwert werden. Wir dürften die Angabe Ramond's wohl deshalb als die zuverlässigste halten, als sie einmal auf vielfachen Barometerbeobachtungen beruht und ferner auch dadurch bestimmt wurde, daß Ramond den umgekehrten Weg einschlug, den Monte Gregorio trigonometrisch maß und somit $Z-Z_n$ bestimmte und hierdurch $\frac{q}{\delta'}$ als die erwähnte Zahl bestimmte. — Dalton scheint durch die von ihm aufgestellte Hypothese, — daß nämlich die verschieden Gasar-

ten in der Atmosphäre selbstständige Atmosphären bilden, so daß Sauerstoff nur von Sauerstoff, Stickstoff nur von Stickstoff gedrückt werden — der Erklärung über die Abweichung der Constanten von $\frac{q}{\delta}$ am nächsten gekommen zu sein. Wir können uns hier jedoch nicht auf die Entwickelung dieser Theorie einlassen, sondern begnügen uns nur sie hier angedeutet zu haben. —

§. 48.

Practische Formeln zur Höhenmessung von de Luc, Gauß und La Place.

1) Nach de Luc ist die Höhe

$$x = 10000 \left(1 \mp \frac{t}{215}\right) (\log B - \log b)$$

wo B der untere b der obere Barometerstand ist, t anzeigt wieviel Grade die Temperatur von $16\frac{3}{4}°$ R. abweicht, wobei — für höhere + für niedere Temperaturen gilt und x in Toisen = 6 Pariser Fuß ausgedrückt ist

2. Nach Gauß ist die Höhe

$$x = 18382^m (1 + 0{,}0026 \cos 2\psi)\left(1 + \frac{T + t}{498{,}75}\right)(\log B - \log b)$$

wo m Meter, ψ die Polhöhe, T und t die Temperaturen an den Stationen nach Celsius, B und b die reducirten Barometerstände.

3) Nach la Place

$$x = 18393^m (1 + 0{,}002837 \cos 2\psi)\left(1 + \frac{2(T + t)}{1000}\right) (\log B - \log b)$$

mit derselben Bedeutung der einzelnen Größen.

§. 49.

Höhenmessung von Baeyer, Carlini und Bech.

Baeyer (Pogg. Ann. Bd. 98, S. 371) hat gegen die Thatsache, daß die Höhenmessungen nach der letzten Formel von La Place und nach trigonometrischen Principien verfolgt, unter einander nicht übereinstimmen, den Einwand erhoben, daß nicht die Mitteltemperatur als Constante, sondern die Temperatur als Function des Abstandes von der Meeresfläche in die Differentialgleichung vor der Integration einzuführen sei. Die Differentialgleichung ist folgende:

$$\log b = -N' \int \frac{dr}{(1+\alpha t)\left(1+\frac{2(r-a)}{a}\right)} + C. \quad (^1)$$

Hier bedeuten b und t Barometerstand und Temperatur in einem Abstande r vom Erdmittelpunkte und α den Ausdehnungscoëfficient der Luft. Ferner ist

$$N' = \frac{1-\beta \cos 2\varphi}{4081{,}56}\left(1-\frac{2h}{R}\right),$$

worin $\beta = 0{,}1025945$, ferner φ die geographische Breite, R der Erdradius und $h = a - R$ die Höhe der untern Station über der Meeresfläche bezeichnen. — In die Gleichung (^{1}) führt nun Baeyer die Function ein, die t abhängig von r ausdrückt, und nimmt nach Bessel (astronom. Nachrichten Nr. 356) für Höhen unterhalb 1000 Toisen die Wärmeabnahme der Höhe proportional an, wo dann $t - t' = \delta\,(r - a)$ wird und t die Temperatur an der obern t' an der untern Station bedeutet. Das Integral vereinfacht sich dann zu:

$$r - a = \left\{\left(\frac{b'}{b}\right)^{\frac{p}{N'}} - 1\right\} \frac{1+\alpha t'}{p} \quad (^2)$$

worin $p = \left(\alpha\,\delta + \frac{2(1+\alpha t')}{a}\right)$

In (²) sucht man nun den Höhenunterschied r — a näherungsweise zu bestimmen, indem man p für einen mittlern Werth δ' berechnet. Bayer hat einen mittlern Werth = — 0,01485 gefunden. Mit dem genäherten r — a findet man aus der Relation

$$\frac{t - t'}{r - a} = \delta$$

den genaueren Werth von δ und mittelst dieses die verbesserten von p und r — a.

Carlini's Mittheilungen, nach welchen für die barometrischen Messungen die Luft nicht als aus cylindrischen Luftsäulchen, sondern aus abgestutzten Kegeln oder Pyramiden, die sich nach oben erweitern, zusammengesetzt erscheinen lassen, sind nicht neu und erinnern an die schon früher gemachten Mittheilungen hierüber in den Astronomischen Nachrichten, Nr. 965, von Zech. — Auch die Barometerreductionen auf einen mittlern Werth hat bereits Plantamour im Arch. phys. nat. 28, p. 177 ausgeführt.

Sonst vergleiche man:

A. Erman: über barometrische Nivellements in Pogg. Ann. Bd. 88, S. 260 und 387.

Dove: Aenderung des Luftdrucks, in Edinb. phil. Journ. 55, pag. 123.

Welsh: Barometer bei Luftfahrten, Instit. 1853, p. 382.

Bessel's Untersuchungen, Astronom. Nachr. 12, S. 242.

Pick: über Unzuverlässigkeit der Barometer-Höhenbestimmungen, Wiener Acad. Berichte, 16, S. 415.

Haidinger: Bemerkungen über Pick's Resultate im Jahrbuch der geologischen Reichsanstalt, 1855, S. 450.

Nach Zech, in Astronom. Nachrichten 41, S. 39 u. f. stellt sich die Höhenmeßformel dar:

$$h'' - h' = \frac{1}{M \lambda \cdot g_o} \left(1 + \frac{h' + h''}{r}\right) \log \frac{b'}{b''}$$

wo M der Modulus log Brigg., λ ein von der Temperatur abhängiger Coefficient, g_0 die Intensität der Schwere des Ortes an der Erdoberfläche, r der Erdradius, b' und b'' die Barometerstände und h' h'' Höhen sind, denen die Luftdrucke p' und p'' entsprechen. — Da es hier unmöglich, die Formel vollständig abzuleiten, verweisen wir, um ein vollständiges Verständniß zu erlangen, auf die Quelle.

Zu vergleichen ist:

K. Steczkowski über Höhenmessung, Grunert's Archiv, Bd. 24, S. 53.

Koristka über Tafeln barometrisch gemessener Höhen, Jahrbuch der geolog. Reichsanstalt 1855, S. 837.

§. 50.

Einflüsse auf genaue Barometermessungen.

Einfluß des Windes.

Ramond: Sur la mesure de hauteurs à l'aide du baromètre. Mém. d'inst. de France, Classe math. phys., Tom. 7, pag. 148.

v. Buch: über barometrische Windrosen. Abhandl. der Academie der Wissenschaften 1818 und 1819. Berlin 1820.

Dove: in Pogg. Ann. Bd. 11, S. 545 und 16, S. 285.

Kämtz: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1832, Bd. 2, S. 314.

Einfluß der Tageszeit.

Ramond: a. a. O. tom. 6, pag. 435, tom. 7, part. 2, pag. 3.

Kämtz: Pogg. Ann. Bd. 27, S. 345.

Plantamour: Résumé des observations thermométriques et barométriques etc. Genève 1851, pag. 44 und 55.

Einfluß der Wechsel der Winde.

Ramond: a. o. O. Tom. 7, part. 2, pag. 3.

Einfluß der Ungleichheit des Barometerstandes im Meeresspiegel.

J. C. E. Schmidt, Lehrbuch der mathem. und phys. Geographie. Göttingen 1830. S. 330.
Zech: monatliche Correspondenz 21, S. 211.
Ramond: a. o. O. 1808. 1. Sem. S. 118.

§. 51.

Literatur über Barometerstände und über Einflüsse auf den Barometerstand.

Da wir hier nicht speciell auf den Theil der Metereologie eingehen können, in welchem das Barometer eine so wichtige Rolle spielt, so wollen wir nur die hauptsächlichsten Schriften, in welchen speciell über die Barometerstände gehandelt wird, folgen lassen.

Pascal: in Traité de l'equlibre des liqueurs et de la pésanteur de la masse de l'air, Paris 1658, führte die von Toricelli begründete Lehre vom Luftdruck weiter aus und ermittelte bereits die jährlichen Variationen desselben. — Ueber die täglichen Variationen geben uns, wie Humboldt in seiner Voyage et rélation historique. Tom. III, Paris 1825, erwähnt, zuerst Barin, des Hayes und de Glos durch Beobachtungen am grünen Vorgebirge Nachricht: und diese werden später allgemeiner, so daß in folgenden Schriften Beobachtungen hierüber enthalten sind.

Bouguer: Figure de la terre.

La Condamine: Journal du voyage à l'equateur. Paris 1751.

Cotte: Traité de météreologie. Paris 1774.
Thibault de Chanvallon: Voyage à la Martinique.
Ephemerides Manheimensis und Green: Journal, Bd. 2.
Die Variationen in den Pyrenäen von Ramond: sur la mesure des hauteurs à l'aide du Baromètre.
Hallström's Arbeit: Ueber die durch den Barometerstand zu bemerkenden und täglich in regelmäßigen Perioden geschehenden Veränderungen der Erdatmosphäre. Konigl. Vetensk acad. Handling 1826, auch Pogg. Ann. 8. S. 131, 299, 443.
Bouvard's Untersuchungen in Paris in Mémoires de l'acad. royal. des Sciences etc. tom. 7, im Auszuge, Schweizer-Seidel, Journal für Phys. und Chem. Bd. 59, S. 129.
Kämtz in Halle. Vergleiche sein Lehrbuch der Metereologie, Bd. 2, S. 261.
Dove: über Apenrade, Pogg. Ann. Bd. 22, S. 219.
Bessel: über Königsberg, Astronom. Nachrichten, Bd. 2, S. 25.
Hoff: über Gotha, in Kastner's Archiv, Bd. 19, S. 169.
Hansteen: über Christiania in Schweigger a. o. O. Bd. 47, S. 174.
Muncke: über Heidelberg, in Gehler's Phys. Wörterbuch, Bd. I, S. 926.
Brandes: über Salzuflen, vergl. Ueber den Gang des Barometers. Lemgo. 1832.
Forbes: über Edinburg in: On the horary oscillations of the barometer near Edinburgh deduced from 4410 observations, deutsch bearbeitet von Mahlmann unter dem Titel: Forbes, Abriß einer Geschichte der neueren Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der Metereologie. Berlin 1836.
Für Plymouth, in Dove: Repertorium der Physik, Bd. 4, S. 250.
Für Mühlhausen in Thüringen, von Gräger, in Pogg. Ann. 53, S. 637.

Für Genf und den St. Bernhard von Plantamour in Resumé des observations therm. et barométriques. Genève 1851.

Für Buitenzorg auf Java. Pogg. Annalen. Bd. 70, S. 375.

Für Rio-Janeiro, in Neumann's Zeitschrift für Erdkunde, Bd. 6, S. 427.

Für mehrere russische Stationen, nach Kupffer, in Compte rendu annuel An. 1857. Petersbourg 1858.

Eine ausführliche Tafel über die tägliche Periode des Barometerstandes von Hallström in Pogg. Ann. Bd. 11, S. 268.

Ueber die Wendepunkte der täglichen Periode des Luftdrucks.

Vergleiche: Kämptz in Dove, Repertorium der Physik. Berlin 1841. Bd. 4, S. 249.

Riemann: ebendaselbst. Bd. 4, S. 253.

Crahay: in Mémoire sur les oscillations diurne du baromètre, pag. 12.

Plantamour in erwähnter Schrift.

Da wir zum Schlusse die jährlichen Barometerstände anführen werden, wollen wir über die mittleren Barometerstände nur die große und wichtige Arbeit von Schouw: „Ueber den Mittelstand des Barometers am Meeresufer". Pogg. Ann. Bd. 26, S. 395 erwähnen. Wir finden dort eine Anzahl herangezogener Citate aus Quellen, die hier anzuführen überflüssig erscheinen dürften, da wir auf die metereologische Verwerthung verzichten müssen. Einzeln sind sie auch in der Encyclopädie der Physik, als Lehrbuch der Meteorologie von Dr. E. E. Schmidt, von S. 867 ab enthalten.

Ueber die Einwirkung der Winde auf das Barometer sind namentlich folgende Schriften zu empfehlen: v. Buch: über barometrische Windrosen in

den Abhandl. der königl. Academie der Wissenschaften in Berlin, Jahrg. 1818 u. 1819; S. 103. Ferner die Arbeiten von Dove, in Pogg. Ann. Bd. 11, S. 545 ff. und Bd. 16, S. 285 ff., Kämptz: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1832. Bd. 2, S. 314 ff. Dove: Repertorium der Physik. Berlin 1841. Bd. 4, S. 202 (enthält eine Abhandlung von Eisenlohr) und S. 208. Galle in Pogg. Ann. Bd. 31, S. 480. —

Ueber den Druck der trocknen Luft ist zu vergleichen: Ergebnisse der seit dem Jahre 1848 angestellten Beobachtungen des metereologischen Institutes, herausgegeben vom statistischen Bureau in Berlin. Für Rußland: Compte rendu annuel etc. von Kupffer. Für England und seine Colonien in: Repert. of the metings of the british association held at Cambridge 1845. Für Rio-Janeiro in Neumann, Zeitschrift für allgemeine Erdkunde, Bd. 6, S. 427.

Ueber die Einwirkungen des Dampfdrucks auf's Barometer vergleiche Dove, in Pogg. Ann. Bd. 70 und Dove, in Neumann, Bd. 6.

Die Einwirkung der Temperatur, vergleiche gleichzeitig mit Dove's Drehungsgesetz des Windes in Repert. etc. held at Cambridge 1845, pag. 24 et 67 (von Dove), ferner Quetelet: des ondes atmosphériques, in Annuaire météorologique de la France pour 1852. Tom. 4, pag. 113, und Dove's Einwand in den Abhandl. der Acad. der Wissenschaften, Berlin 1856. Supplement Band I, S. 14, ferner Secchi in Compt. rendu, tom. 47, pag. 505.

Ueber die atmosphärische Ebbe und Fluth oder über die Einwirkungen der Sonne und des Mondes auf da's Barometer verweisen wir auf D. Bernoulli: Traité sur le flux et reflux de la mer in Philosophiae naturalis principia mathematica auctore Neutono. tom. III, pag. 133, ferner aus La Place: Exposition du système du monde Liv. VI, Chap. 12. Bouvard, in Pogg. Ann. Bd. 13, S. 137. Ueber den Einfluß des Mondes, speciell: Barometerbe-

obachtungen in Bogota von Boussignault und Rivero in Ann. chim. et phys. 33, pag. 427, im Auszuge in Pogg. Ann. Bd. 9, S. 150 u. ff. — Ueber stündliche Schwankungen des Barometers von A. von Humboldt in Pogg. Ann. Bd. 12, S. 305 u. ff. — Ueber den Einfluß des Mondes von Eisenlohr in Pogg. Ann. Bd. 30, S. 78. Vergleiche ferner Pogg. Ann. Bd. 35, S. 313 und Pogg. Ann. Bd. 60, S. 183 u. ff. —

§. 52.

Barometerstände.

Wir lassen schließlich noch die Angaben über einige Barometerstände folgen, die aus Pogg. Annalen, Bd. 77, S. 386 ff., aus den Monatsberichten der Berliner Academie, Mai 1852, aus Neumann's Zeitschrift für allgemeine Erdkunde, Bd. 4 und Bd. 6, und aus Schouw. Pogg. 26, S. 395 entlehnt sind. Alles in Pariser Linien ausgedrückt.

	Pariser Linien.		Pariser Linien.
Aden (Asien)	334,45	Bolton	332,86
Amsterdam	335,63	Bergen	335,25
Arnheim	335,26	Basel	327,66
Aschaffenburg	332,66	Bern	329,45
Arnstadt	326,76	Bogenhausen	317,38
Andex, St.	309,19	Bernhard, St.	249,72
Arys (Ostpreußen)	332,04	Brocken	299,61
Archangel	334,80	Bromberg	335,50
Astrachan	338,16	Breslau	331,92
Ajansk	335,34	Berlin	335,62
Ara (Asien)	332,38	Boppard	334,33
Ancaster	327,09	Beurut	334,66
Brescia	334,44	Bogoslowsk	327,14
Brüssel	334,98	Barnaul	333,16
Breda	336,66	Benares (Asien)	331,80

	Pariser Linien.
Bombay	335,90
Bangalore (Asien)	304,33
Buitenzorg (Java)	326,04
Batavia	334,97
Barbados	334,56
Boethia Felix	337,14
Chiowick	336,99
Christiania	335,83
Canton	336,60
Calcutta	334,56
Capstadt	338,27
Christiansberg (Guinea)	336,49
Cayenne	336,93
Caracas	303,13
Cambridge	337,75
Danzig	336,80
Dresden	333,12
Dodabetta (Asien)	247,72
Denis, St. (Bourbon)	336,63
Erfurt	329,28
Enäfiord	333,80
Franeker	335,99
Freiburg	321,91
Frankfurt a. O.	335,95
Funchal	337,96
Fé de Bogota, St.	348,60
Genua	335,53
Greenwich	335,04
Genf	321,48
Gratz	323,58
Gallen, St.	311,71
Gotthard, St.	261,56
Görlitz	329,67
Gotha	324,83
Gütersloh	334,18

	Pariser Linien.
Gondokoro (Afrika)	319,75
Georgetown (Guyana)	337,11
Guatemala	288,01
Harlem	336,12
Hof	318,92
Heinrichshagen	333,05
Halle	333,95
Heiligenstadt	327,18
Helfingfors	335,76
Hobarton (Indien)	333,32
Honolulu	338,72
Helena, St.	318,40
Havannah	337,15
Hudson	324,36
Insbruck	327,89
Jena	332,61
Irkutsk	321,91
Jago, St.	319,90
Johns, St.	334,82
Igloolik	335,52
Isle de France	338,92
Krumpfal	332,38
Karlsruhe	334,06
Königsberg	336,35
Konitz	330,73
Köslin	335,67
Kolberg	337,41
Kleve	335,23
Krefeld	335,57
Köln	335,28
Kreuznach	333,22
Krakau	329,36
Kasan	334,56
Katharinenburg	327,17
Kafiord	333,95
Leyden	336,51

	Pariser Linien.
London	336,20
Lemberg	326,73
Lugau	333,95
Mailand	332,88
Metz	330,55
Mastricht	335,68
Manchester	336,52
Makerstonn	333,60
München	317,79
Marburg	328,58
Memel	336,67
Mühlhausen	329,44
Münster	334,67
Moskau	330,27
Macao (Asien)	338,31
Manilla	336,12
Mozuferpur	331,65
Madras	336,28
Mercara	293,57
Melnbourne	336,70
Michael, St.	339,16
Melville, Insel	336,21
Neapel	332,47
Neukirchen	327,59
Novgorod N.	331,95
Nicolajef	336,30
Nischney-Tagilsk	329,74
Nertschinsk	312,04
Nagasaki	337,43
Nasirabad (Asien)	317,92
Nazera (Asien)	328,55
Natchez	334,36
New-York	338,76
New-Redford	327,85
Ofen	328,53
Orenburg	332,36
Octacamund	259,54

	Pariser Linien.
Palermo	334,67
Padua	337,46
Paris	335,05
Prag	329,61
Peißenberg	349,37
Posen	334,17
Putbus	334,92
Paderborn	331,06
Petersburg	337,08
Peking	336,59
Pubah (Asien)	314,39
Port-Louis	337,96
Port Jacson	332,32
Philadelphia	337,02
Peter-Paulshofen	334,17
Port Rowen	336,50
Rom	335,88
Regensburg	324,07
Ratibor	329,81
Rio-Janeiro	336,02
Rochester	331,02
Reikiavig	332,53
Schiedam	336,25
Strasburg	333,05
Stuttgart	328,73
Schöneberg (bei Danzig)	326,89
Stettin	336,60
Salzwedel	336,53
Saratow	335,66
Slalvust	322,61
Singapore	336,48
Scharumpur	323,89
Seringapatam	309,15
Samarang (Indien)	338,30
Souillac	336,78
Sitcha	335,96

	Pariser Linien.		Pariser Linien.
Toulouse	338,24	Venedig	336,27
Tegernsee	309,42	Würzburg	329,54
Torgau	333,79	Wilna	333,20
Trier	332,06	Warschau	332,44
Tangerog	337,64	Wien	330,36
Tiflis	321,31	Woolnorth	337,97
Tirhovt	330,92	Winter-Insel	334,59
Trerandrum	334,30	Zwanenburg	338,68
Toronto(N.Amerika)	333,37	Zürich	326,77
Timor	336,23	Zittau	327,82
Utrecht	335,61	Zechen	333,27
Uralsk	341,02	Ziegenrück	324,86
Udskoi	334,30		

Anhang.

§. 53.

Erläuterung einiger practischen Aufgaben aus den vorhergehenden Kapiteln.

1) Es soll der Rauminhalt V einer engen Glasröhre von überall gleichem Caliber bei der Temperatur t bestimmt werden.

Zu diesem Zwecke muß man zunächst die Röhre leer wiegen, ihr Gewicht sei p_1, dann wiege man sie mit Quecksilber gefüllt, sie zeige p_2 Gewichtseinheiten (Gramme, Loth u. s. w.), so ist natürlich das Gewicht der Quecksilbersäule m m' der Länge der Röhre $p_2 - p_1$. Dividirt man diese Länge durch die Dichte des Quecksilbers d bei t^0, so erhält man das verlangte Volumen. Nun ist aber

$$d = \frac{13{,}568}{1 + K t}$$

wo 13,568 die Dichte des Quecksilbers im Allgemeinen und K seinen Ausdehnungscoefficienten bezeichnet. Mithin ist

$$V = \frac{(p_2 - p_1)(1 + K t)}{13{,}568}$$

2) Man hat einen Körper (dessen Längenausdehnung vorherrschend ist) von der Länge l bei 0° Temperatur. Welche Länge l_1 wird er erhalten, wenn er bis auf t° erwärmt wird?

Jeder Körper wird durch die Wärme ausgedehnt, jedoch können wir unmittelbar nur die Vergrößerung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung messen. Diese lineare Ausdehnung ist nun aber bei verschiedenen Körpern verschieden, da sowohl physicalische Eigenschaften (Gefüge, Härte u. s. w.) wie chemische die bestimmte Veränderung hemmen, da man nun die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil seiner ursprünglichen Länge ein Körper sich ausdehnt, wenn er von 0° bis 100° erwärmt wird, den Ausdehnungscoefficienten nennt, so hat jeder Körper seinen eigenen Ausdehnungscoefficienten. —

Bezeichnen wir nun mit l die Länge eines Körpers, etwa eines Metallstabes, dessen Ausdehnungscoefficienten wir allgemein zunächst mit a bezeichnen wollen, so wird bei seiner Erwärmung auf t° sich die Länge l ändern, d. h. wachsen und zwar, da der Coefficient a die Länge von 0° bis 100° ausdrückt, bei einem Grade um $\frac{a}{100}$, bei t° um $\frac{a}{100} \cdot t$. Somit tritt zu der ursprünglichen Länge l noch die von $\frac{a}{100}$ t l hinzu, so daß

$$l_1 = l + \frac{a}{100} \cdot t \cdot l \text{ wird, oder}$$

$$l_1 = l\left(1 + \frac{a}{100}\, t\right)$$

z. B. Die Länge einer Eisenbahnschiene ist 8 Fuß bei 0°, wie groß ist sie bei 40° Wärme?

Wenn wir den Ausdehnungscoefficient a für Eisen zu $\frac{1}{856}$ oder 0,001167 annehmen, ist

$$l_1 = 8\,(1 + 0{,}00001167 \cdot 40) = 8{,}00352 \text{ Fuß.}$$

3) Das Vorhergehende läßt uns nun auch leicht die Frage beantworten: **Wie findet man den Ausdehnungscoefficient eines Körpers:**

Es ergiebt sich aus

$$l_1 = l\left(1 + \frac{a}{100} \cdot t\right)$$

$\frac{a}{100}$ die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0° bis 1° entspricht, setzen wir nun diesen Ausdruck $= \alpha$, so ist auch

$$l_1 = l\,(1 + \alpha \cdot t)$$

$$\alpha = \frac{l_1 - l}{t \cdot l}$$

d. h. **wenn ich von der durch die Wärme herbeigeführten Länge die ursprüngliche bei 0° abziehe und durch das Product von der gesuchten Temperatur und der ursprünglichen Länge dividire, erhalte ich den Ausdehnungscoefficienten.** —

4) Aus diesen folgt nun leicht die Beantwortung der Frage: Wie stellen sich die Vergrößerungen der Fläche und des Körpers durch die Wärme dar?

Ist die Lange der Fläche l und ihre Breite b bei 0°, so ändern sich bei t° beide Dimensionen einzeln in:

$$l\,(1 + \alpha\, t) \text{ und } b\,(1 + \alpha\, t)$$

also die Fläche $l \cdot b = F$ gesetzt, $F\,(1 + \alpha\, t)$;
erhebe ich die Größe zum Quadrat, so ergiebt sich aus

$$F' = F\,(1 + \alpha\, t)^2$$

$$F' = F\,(1 + 2\,\alpha\, t + \alpha^2\, t^2);$$

da nun schon α ein kleiner Bruch ist, so wird es umsomehr α^2 sein und somit ist es eine für die Praxis zu vernachlässigende Größe, also folgt

$$F' = F\,(1 + 2\,\alpha\,t)$$

z. B. Eine gußeiserne Platte hat bei 10° C. einen Flächeninhalt von 10 □Fuß. Wie groß ist sie bei 20° C. und wie groß bei 0° C. Der Ausdehnungscoefficient $= \frac{1}{901} = 0{,}001110$.

$$F' = 10\,(1 + 2 \cdot 10 \cdot 0{,}000011) = 10{,}0022\ \square\text{F.}$$

und $F' = 10\,(1 - 2 \cdot 10 \cdot 0{,}000011) = 9{,}9978\ \square$F.

5) Ebenso ergiebt sich auch für einen Körper K, dessen Länge, Breite und Höhe bei 0° mit l, b und h bezeichnet werde, so daß $K = l \cdot b\,h$ für eine Temperatur von t°.

$$K' = l\,(1 + \alpha\,t) \cdot b\,(1 + \alpha t) \cdot h\,(1 + \alpha t) = K(1 + \alpha\,t)^3.$$

Führt man die Erhebung auf die 3te Potenz aus und vernachlässigt die Glieder, die mit $\alpha^2\,t^2$ und darüber beginnen aus den schon erwähnten Gründen, so ergiebt sich

$$K' = K\,(1 + 3\,\alpha\,t)$$

z. B. Ein gläserner Ballon enthält bei 10° C. einen Cubicfuß Wasser; wie groß ist sein Raum, wenn er mit Wasser von 90° gefüllt wird

$$K' = 1\,(1 + 3 \cdot 0{,}00009 \cdot 80) = 1{,}00216\ \text{Cubicfuß.}$$

Zweites Beispiel. Welchen Raum nehmen 24 Cubiczoll Quecksilber von 15° C. ein, wenn man bis 100° C. erwärmt.

$$K' = 24\,(1 + \tfrac{85}{5550}) = 24\,\tfrac{204}{555}\ \text{Cubiczoll.}$$

6) Es soll die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers bestimmt werden, wenn gegeben ist:

eine in Theile von gleichem Rauminhalte getheilte Glasröhre mit einer daran befindlichen hohlen Kugel, die P Raumtheile der Röhre enthält. —

Es sei die Röhre in viele Theile getheilt, von denen n mit Quecksilber angefüllt sind, solange die Röhre sich in schmelzendem Eise befindet, dagegen seien n′ angefüllt, wenn das Wasser siedet und das Quecksilber ausdehnt, dann hat das Volum des Quecksilbers von

0° bis 100° C. um n' — n Volumeneinheiten, oder um $\frac{n' - n}{P + n}$ des ganzen Quecksilber-Volumens zugenommen, also ist der Coefficient der scheinbaren Ausdehnung $\frac{n' - n}{100\,(P + n)} = \frac{1}{6480}$.

Man könnte nun noch fragen: Wenn man eine in Theile von gleichem Rauminhalte getheilte Glasröhre hat, an deren Ende sich eine hohle Kugel befindet, wie kann man bestimmen, nun wie viel mal der Rauminhalt der Kugel größer ist, als der einer Abtheilung der Röhre?

Man verfährt hierbei nach der Methode von Gay-Lussac, indem man zuerst den Apparat leer wiegt, dann die Kugel und wenige Raumtheile der Röhre mit Quecksilber anfüllt, etwa t_1 und dann wiegt, nochmals t_2 Raumtheile der Röhre anfüllt und wieder wiegt u. s. w. Sind nun T T_1 T_2 . . . T_n die durch mehrfache Wägungen erhaltenen Gewichte und N die gesuchte Zahl so hat man für die Quecksilbergewichte $T_1 - T$, $T_2 - T_1$ . . $T_n - T_{n-1}$. . . Diese Gewichte verhalten sich wie die Massen, die hier $N + t_1$ ferner $t_2 - t_1$ u. s. w. sind. Also ist

$$(T_1 - T) : (T_2 - T_1) = (N + t_1) : (t_2 - t_1),$$

woraus $N = \frac{(T_1 - T)\,(t_2 - t_1)}{T_2 - T_1} - t_1$.

Somit läßt sich nun die practische Frage beantworten, wie vielmal muß der Rauminhalt der an eine Röhre anzublasenden Kugel größer sein, als der der Röhre, wenn man durch das Quecksilberthermometer Temperaturen über 300° C. über und 50° unter 0° bestimmen will. — Ist $\frac{1}{6480}$ der scheinbare Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers. so ist: $\frac{N \cdot 300}{6480} = 350$

und $N = \frac{6480 \cdot 350}{300} = 7560$ also $x = \frac{7560}{300} = 25{,}6$,

d. h. der **Rauminhalt** der Kugel muß 25,6 mal so groß sein, als der der Röhre. —

7) Wenn der Ausdehnungscoefficient (scheinbare) des Quecksilbers $= \frac{1}{6480}$ und der absolute $\frac{1}{5550}$ für Celsius-Thermometer ist, wie groß ist daraus der Ausdehnungscoefficient des Glases.

Es sei d der Coeffic. der absol. Ausdehnung des Quecksilbers

δ „ „ „ scheinbaren „ „ „

k „ „ „ Glasausdehnung „ „

v das Quecksilbervolumen bei t^0

v_1 „ „ bei $t_1{}^0$, wobei $z_1{}^0 = 1^0$ zu setzen, dann ist

$$v\,(1 + d) = v_1\,(1 + k) \text{ woraus } d = \frac{v_1 - v}{v} + \frac{k\,v_1}{v}.$$

$$\text{Aber } \delta = \frac{v_1 - v}{v}, \text{ also } d = \delta + \frac{k\,v_1}{v} \text{ mithin } k = d - \delta,$$

da bei $t_1{}^0 = 1^0$ $\frac{v_1}{v}$ nahe $= 1$ sein wird. Setzt man die Werthe, so ist

$$k = \frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{1}{38700}.$$

8) Der durch Beobachtung bestimmte Siedepunkt eines Thermometers ist nur dann richtig, wenn der dabei beobachtete Barometerstand auf 0^0 Temperatur reducirt $= 336{,}9'''$ war.

Für jeden andern Barometerstand ist auch eine Correction in Bezug aufs Thermometer nothwendig. Gesetzt es wären nur $330{,}85'''$ gefunden und E sei die Entfernung vom Eispunkt zum Siedepunkt. Wie groß ergiebt sich die berichtigte Entfernung E' dafür?

Siedehitze.	Barometerstand in Pariser Linien.
101° C.	349,00
100,5	342,65
100	336,90
99,5	330,85
99	324,80
98,5	318,80
98	312,87

Vorstehende Tabelle lehrt nur, daß dem Luftdrucke von 330,85''' die Siedetemperatur von 99,5° C. entspricht, also ist

$$99{,}5^0 : 100 = E : E'$$

$$E' = \frac{100 \cdot E}{99{,}5} \text{ die betreffende Correction.}$$

Haben wir eine Gasmasse vom Volum v unter dem Drucke p und der Temperatur t und erwärmen wir das Gas, so daß sein Volum sich in v_1 unter der Temperatur t_1 und dem Drucke p_1 verwandelt, so stellen sich mit Benutzung vom Anhange (2) folgende Gleichungen dar:

$$\frac{v_1}{v} = \frac{p}{p_1} \frac{1 + a\,t_1}{1 + a\,t},$$

wo $a = \frac{1}{273}$ für Celsius und $a = \frac{1}{218}$ für Réaumur.

Werden die betreffenden Expansionskräfte durch e und e_1 bezeichnet, so ist

$$\frac{e_1}{e} = \frac{v}{v_1} \frac{1 + a\,t_1}{1 + a\,t};$$

hieraus sind nun leicht die einzelnen Werthe für $v\,v_1$, $p\,p_1$, $e\,e_1$, t und t_1 zu bestimmen. —

10) Wenn die Ausdehnung des Quecksibers von 0° bis 100°, 200°, 300° respect. $\frac{1}{55{,}5}$, $\frac{2}{54{,}25}$, $\frac{3}{53}$ be-

trägt, so soll man in der Formel $y = \frac{t}{a - b\,t}$ die Constanten a und b so bestimmen, daß g die Ausdehbehnung für irgend eine Temperatur t zwischen 0° und 300° angiebt.

Es ist $\frac{1}{55{,}5} = \frac{100}{a - b \cdot 100}$ und $\frac{2}{54{,}25} = \frac{200}{a - b \cdot 200}$, also

$$55{,}5 = \frac{a - b \cdot 100}{100} \text{ und } 54{,}25 = \frac{a - b \cdot 200}{200},$$

somit $11100 = 2a - b \cdot 200$ und $5425 = a - b \cdot 200$
also $5675 = a$ und $1{,}25 = b$.

Setzt man diese Constanten in die obige Formel, so ist

$$y = \frac{t}{5675 - 1{,}25\,t};$$

hierin hat man also für ein beliebiges t einen bestimmten Werth.

11) Jede Luftart dehnt sich der Wärmezunahme proportional vom Nullpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers aus.

Die Luft um 0,375 ihres Volumens bei 0°. Ein Luftvolumen V_0 bei 0° wird also bei t° C. das Volumen

$$V^t = V_0 \; (1 + 0{,}00375\;t)$$

bei 100° C. dagegen das Volumen $1{,}375\;V_0$ haben. Es ist aber $1 : 1{,}375 = 1000 : 1375 = 8 : 11$. Somit kann man den Fundamentalabstand eines Thermometers in 11 — 8, d. h. in 3 gleiche Theile getheilt denken, bei welchen beim Gefrierpunkte die Zahl 8, beim Siedepunkte 11 zu setzen ist. —

Diese Grade würden dann gleichzeitig das jeder stattfindenden Temperatur entsprechende Luftvolumen ausdrücken. Natürlich würde es dasselbe sein, wenn man den Gefrierpunkt mit 1110, den Siedepunkt mit 1375 bezeichnete und den Fundamentalabstand in 375 Theile

eintheilte. Diejenige Wärmemenge, die beim Gefrierpunkte vorhanden ist, verhält sich zu der, welche den Körper vom Gefrier- bis zum Siedepunkte erwärmt, wie 8 : 3. Wollen wir nun diese Grade z. B. auf Réaumur reduciren, so ist:

$$8 : 3 = x : 80$$
$$x = 213\tfrac{1}{3}$$
Also 0° R. $= 213\tfrac{1}{3}$
80° R. $= 213\tfrac{1}{3} + 80 = 293\tfrac{1}{3}$
t° R. $= 213\tfrac{1}{3} + t^\circ$.

Dieses ist das Princip des Luftthermometers und die Reductionen auf Celsius sind ähnlich auszuführen.

12) Es soll durch ein Luftthermometer die Temperatur von siedendem Schwefeldampf bestimmt werden.

Man fülle den Apparat mit Quecksilber, er wiege 700 Gramm. Man schütte das Quecksilber aus, fülle die Röhre mit trockener Luft an und setze sie dem Schwefeldampfe aus. Jetzt schmelze man die Röhre zu und nach der Temperaturerniedrigung auf 10° C. taucht man sie unter Quecksilber, breche die Spitze ab und es dringen 320 Gramm Quecksilber in die Röhre. Wie groß ergiebt sich hieraus die Temperatur t des Schwefeldampfes.

Es ist nach dem Früheren: wenn der Ausdehnungscoefficient $= \frac{1}{273}$.

$$700 : (700 - 320) = (273 + t) : (273 + 10)$$
$$700 : 380 = (273 + t) : 283$$
$$t = \frac{700 \cdot 283 - 380 \cdot 273^\circ}{380}.$$

13) Eine Temperatur, die zwischen 100° und 400° liegt, durch Eintauchen eines Metallringes in kaltes Wasser zu ermitteln.

Bary löst diese Aufgabe folgendermaßen: Man bezeichnet durch $100 + x$ die Temperatur eines warmen

Körpers nach dem Luftthermometer und setzt voraus, daß ein Eisenring, dessen Gewicht m ist, eine hinlänglängliche innige Berührung mit diesem Körper gehabt hat, um seine Temperatur genau anzunehmen. Man taucht diesen Ring in eine große Masse kalten Wassers, dessen Gewicht p und dessen Anfangstemperatur t ist; wenn die Ausgleichung der Temperatur erfolgt ist, beobachtet man die Temperatur ϑ der Mischung. Die Gleichung des Problems ist dann

$$m[0{,}1098(100-t')+11248x+0{,}0000772\,\alpha^2]=p(t'-t)\ \mathrm{I}$$

oder auch $m\left[0{,}1098\,(100-t')+\dfrac{39599{,}89\,x}{348750-193\,x}\right]$

$$=p\,(t'-t)\ \mathrm{II}.$$

Ein Gramme Eisen gewinnt von 0° auf 100° gebracht $0{,}1098 \times 100$ Wärmegradeinheiten $= 10{,}98$. Ist y die Zahl der Wärmeeinheiten, die das Eisen erhält, wenn man das Gramme von 0° bis 100° + ϑ° erwärmt, so setze ich:

$$y = 10{,}98 + a\,\vartheta + b\,\vartheta^2$$

wo die beiden Canstanten a und b zu bestimmen sind. — Man findet nun daß 1° Eisen von 0° auf 200° erwärmt $200 \cdot 0{,}1150 = 23$ Wärmeeinheiten aufnimmt; für $\vartheta = 100$ muß $y = 23$ sein. Durch Erwärmung von 0° auf 350° werden 43,925 Wärmeeinheiten aufgenommen; mithin ist für $\vartheta = 250$ $y = 43{,}925$, daraus folgt

$$y = 10{,}98 + 0{,}11248\,\vartheta + 0{,}0000772\,\vartheta^2\ .$$

oder auch $y = 10{,}98 + \dfrac{34870 - 193\,\vartheta}{39599{,}89\,\vartheta}$.

Löst man nun die Gleichung II nach x auf und nimmt das arithmetische Mittel zwischen dem Werthe von α aus (I) und der positiven Wurzel aus II und addirt es zu 100°, so erhält man sehr annähernd die verlangte Temperatur.

14) Bei einem Borda-Pyrometer, bei welchem der Platinstab mit einem Kupferstabe an einem Ende festverbunden ist, möge der Kupferstab zum Index dienen und die Graduirung so geschehen, daß der Apparat abwechselnd in Eis und siedendes Wasser getaucht und die Lage des Index auf dem Platinstabe mit 2 Strichen bezeichnet werde. Wie groß wird der Zwischenraum dieser beiden Striche, wenn der Kupferstab 2 Fuß lang ist?

$$2\left(\frac{1}{582} - \frac{1}{1167}\right) \text{Fuß}.$$

Ausdehnungscoefficient des Kupfers $\frac{1}{582}$, des Platin $\frac{1}{1167}$.

15) Man hat ein Hebelpyrometer, dessen kürzerer Arm = a'' Länge besitzt, während der Zeiger die Länge z'' hat. Hat nun der zu messende Metallstab eine Länge l''' bei der Temperatur t°, wird auf t_1° erwärmt und es dreht sich der Zeiger um den Winkel n, wie groß ergiebt sich das Ausdehnungscoeficient des Metalls?

Ist l die durch Erwärmung entstandene Länge des Metalls und beschreibt der Zeiger den Bogen $\frac{z\,n\,\pi}{180}$, so ist die Längenzunahme $l_1 - l$ und folglich $l_1 - l : \frac{z\,n\,\pi}{180} = a : z$. Mithin $l_1 - l = \frac{a\,n\,\pi}{180}$ der Ausdehnungscoefficient $= \frac{l_1 - l}{l\,(t_1 - t)} = \frac{a\,n\,\pi}{l\,(t_1 - t)}\ 180.$

16) Eine Silberstange von 1000 Linien bei 0° hat bei 100° die Länge 1002 Linien und auf rothglühendem Eisen die Länge von 1011,61 Linien. Wie groß ist die Hitze des rothglühenden Eisens?

580,5° C. = 464,4° R. = 1076,9° F.

Ausdehnungscoefficient des Silbers 0,001905.

17) August's Formeln zur Bestimmung des Druckes des atmosphärischen Dunstes durchs Psychrometer, stellen sich am Einfachsten so dar:

1. $E = E' \quad 0{,}00080358\ (T - T')\ B$ Atmosphären.

2. $E = E' - \frac{0{,}1244\ (T' - T)\ B}{28{,}776}$ Zoll englisch und F.°

3. $E = E' - \frac{0{,}252\ (T - T')\ B}{324}$ pariser Linien C.°

4. $E = E' - \frac{0{,}315\ (T - T')\ B}{324}$ pariser Linien R.°

B ist der in der Atmosphäre ausgedrückte Luftdruck, der allerdings durch Barometerbeobachtungen gefunden ist, T die Temperatur des trockenen, T' die des feuchten Thermometers, E' die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft des Wasserdunstes bei T.°

I. Spannkraft des Wasserdampfes in

t° C.	Millimeter.	Zoll, preuß.	Linien, pariser.
—10	2,63	0,100	1,16
9	2,81	0,107	1,24
8	3,01	0,115	1,33
7	3,21	0,122	1,42
6	3,43	0,131	1,51
5	3,66	0,139	1,62
4	3,91	0,149	1,73
3	4,17	0,159	1,84
2	4,45	0,170	1,97
1	4,47	0,181	2,10
0	5,06	0,193	2,24

t° C.	Millimeter.	Zoll, preuß.	Linien, pariser.
+1	5,39	0,206	2,39
5	6,95	0,265	3,09
10	9,48	0,360	4,20
15	12,84	0,489	5,68
20	17,28	0,661	7,67
25	23,09	0,882	10,24
30	30,65	1,170	13,59
35	40,40	1,543	17,88

II. Spannkraft des Wasserdampfes.

t° C.	Atmosphären	Zoll, preuß.
100	1	28,984
112,2	1,5	43,476
121,4	2	57,968
128,8	2,5	72,460
135,1	3	86,952
140,6	3,5	101,444
145,4	4	115,936
149,06	4,5	130,428
153,08	5	144,920

18) Wie groß ist der Druck, den Wasserdampf auf einem Quadratzoll bei 135,1° C. ausübt?

Bei 100° ist nach II der Druck auf einen Quadratzoll = 15,05 Pfund.

Folglich: 28,984 : 86,952 = 15,05 : x.

$$x = \frac{86,952 \, . \, 15,05}{28,984}$$

19) Wie viel von Feuchtigkeit enthält die Luft, wenn das freie Thermometer an einem Daniell'schen Hygrometer 15° C. und der Thaupunkt bei 5° C. beobachtet worden.

Nach I ist die Spannkraft bei 15° = 0,489″ und bei 5° = 0,265″, also die Feuchtigkeit $\frac{0,265}{0,489}$ oder in Millimeter $\frac{6,95}{12,84}$, in pariser Linien $\frac{3,09}{5,68}$. — Wird nicht nach Graden von Celsius gefragt, sondern Réaumur oder Fahrenheit, so muß natürlich zunächst eine Reduction auf Celsius erfolgen und ebenso verfahren werden.

20) Bei 28,984″ Barometerstand zeigte das trockne Thermometer am Psychrometer 17,5° Celsius, das feuchte 10°.

1. Welches ist nach August der Druck der atmosphärischen Feuchtigkeit in Zollen?

28,984″ entsprechen einem Atmosphärendrucke. (Ist ein anderer Barometerstand gegeben, so reducirt man ihn leicht, z. B. 27″ 3‴, 28,984″ : 1 = 27″ 3‴ : x) E′ für 10° C = 0,36 = 0,0124 Atmosphären, also E′ = 0,0124 — 0,0008 . 7,5 . 1 = 0,0064 Atmosphären = 0,181 Zoll.

2. Welches ist die zugehörige Temperatur des Thaupunktes?

Zu 0,181 Zoll gehört nach Tab. I eine Temperatur von — 1° C.

3. Wie feucht ist unter diesen Umständen die Luft?

Für 17,5° ist nach Tab. I die Spannkraft = 0,569, für — 1° war sie 0,181 Zoll, also hier $\frac{0,181}{0,569}$.

4. Welches ist nach August'schen Formel 3 der Druck der atmosphärischen Feuchtigkeit in Zollen, den Stand von 28,984 in pariser Linien genommen?

T — T′ = 7,5, also

$$E = 0,181 \cdot 12 - \frac{0,252 \cdot 7,5 \cdot 28,984 \cdot 12}{324}$$

21) Nimmt man in den Formeln von August 3 und 4 den Barometerstand zu 336 Linien, so ist — um die Spannkraft des Thaupunktes zu erhalten — für die Temperaturdifferenzen von 1° bis 10° folgendes von der in Linien ausgedrückten Spannkraft des feuchten Thermometers in Abzug zu bringen.

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Cels.	0,26	0,52	0,78	1,04	1,31	1,57	1,83	2,09	2,35	2,61
R.	0,33	0,65	0,98	1,30	1,63	1,96	2,28	2,61	2,93	3,26

22) Das Barometer zeigt 336‴. Wie feucht ist die Luft, wenn das trockene Thermometer 20° C. zeigt?

Zu 20° C. gehört nach nach Tab. I die Spannung 0,661 Zoll = 7,332 Linien, hiervon ist nach (21) abzuziehen 1,310, also ist $E' = 6,622'''$, Thaupunkt 16° C. Feuchtigkeit $\frac{5,868}{6,622}$.

23) Man kennt durch Beobachtung die Spannkraft des Wasserdampfes von 0°, wie groß wird die Dichtigkeit daraus berechnet?

Man findet die Spannkraft des Wasserdampfes bei 0° gleich 5 Millimeter. Der Luft von dieser Spannkraft entspricht eine Dichtigkeit von $\frac{5}{760}$ der Luft bei 336‴ Barometerstand, also würde sie $\frac{1}{770} \cdot \frac{5}{760}$ der Dichte des Wassers haben. Da sich nun die Dichtigkeit des Wassers von beliebiger Temperatur zur Dichtigkeit der Luft von derselben Temperatur wie 5 : 8 verhält, so ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes von 0° auf die Lufteinheit bezogen $= \frac{5}{8} \cdot \frac{1}{770} \cdot \frac{5}{760} = 0,0000054$.

24) Wie groß ist das Gewicht des Wassers, das in einem Cubikfuß Wasserdampf von 25° C. enthalten ist?

Die Expansivkraft des Dampfes ist gleich 23,1 Millimeter und somit ist die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes von 25° C. $= \frac{5}{8} \cdot \frac{23,1}{760} \cdot \frac{273}{298 \cdot 770}$

$= 0{,}000023$, also das Gewicht des Cubikfußes $= 66 \cdot 0{,}000023 = 0{,}001518$ Pfund.

25) Wie groß ist das Gewicht des in einem Cubikfuße atmosphärischer Luft befindlichen Wasserdampfes bei 25° C., bei völliger Sättigung? Und wie groß, wenn die Luft nicht gesättigt, sondern der Thaupunkt bei 12° C. liegt.

Nach (24) ist

$$\text{a) } \tfrac{5}{8}\,\frac{66}{770}\cdot\frac{23{,}1}{760}\cdot\frac{273}{298} = 0{,}001518 \text{ Pfund,}$$

$$\text{b) } \tfrac{5}{8}\,\frac{66}{770}\cdot\frac{10{,}7}{760}\cdot\frac{273}{298} = 0{,}000688 \text{ Pfund.}$$

26) Es soll allgemein die Dichtigkeit der feuchten, wasserdampfhaltigen Luft bestimmt werden.

Der Druck des Gewichts der trockenen Luft und des Wasserdampfes sei p durch's Barometer gemessen. Vermittelst des Hygrometers kann man die Spannung des Wasserdampfes der Atmosphäre messen, sie sei E', so ist p-E' die Spannung der trockenen Luft. Ferner sei d die Dichtigkeit der Luft unter dem Drucke p - E', D die Dichtigkeit derselben unter 0,76 Meter Spannung, d' die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei 0° und dem Drucke E', d'' die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei 0° und unter 0,76 Meter Spannung, dann ist:

$$d = \frac{D\,(p - E)}{0{,}76\,(1 + \alpha\, t)}$$

$$d'' = \frac{d''\,E'}{0{,}76\,(1 + \alpha\, t)} = \frac{\tfrac{5}{8}\,D\,E'}{0{,}76\,(1 + \alpha\, t)}$$

Dann ist die Dichtigkeit der feuchten Luft

$$d + d' = \frac{D\,(p - E' + \tfrac{5}{8}\,E)}{0{,}76\,(1 + \alpha\, t)} = \frac{D\,(p - \tfrac{3}{8}\,E)}{0{,}76\,(1 + \alpha\, t)}$$

Man ersieht auch hieraus, daß die feuchte Luft eine geringere Dichtigkeit als die trockene hat, wenn man die Spannung der feuchten Luft gleich Null, $E = 0$ setzt.

Wenn ein Volumen (V) atmosphärischer Luft gegeben ist, so bestimmt folgender Ausdruck das absolute Gewicht γ derselben:

$$\gamma = \frac{V \cdot h \cdot 0{,}38155}{0{,}76(1 + \alpha\, t)} \text{ Gran,}$$

hierin ist h die Barometerhöhe zur Zeit des Messens und 0,38155 eine Constante, die durch die Bestimmung des Gewichtes der Luft in Bezug auf's Wasser und durch die Reduction auf 0° Thermometer und 45° geographischer Breite entstanden ist.

27) An einem Barometer ist bei t° C. die Höhe der Quecksilbersäule abgelesen worden, wie groß ist der wahre Barometerstand bei 0° C. und wie groß die betreffende Correction?

Bezeichnen wir den Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers durch α, so ergiebt sich

$$h = x\left(1 + \frac{t}{\alpha}\right)$$

$$x = \frac{h}{1 + \frac{t}{\alpha}} = h - \frac{h\,t}{\alpha} + \ldots\ldots$$

Somit ist an die Höhe h die Correction $+\frac{h\,t}{\alpha}$ anzubringen, je nachdem die Grade über oder unter 0° liegen, wobei im letztern Falle t negativ wird. Da nun auch die frühere Gleichung sich darstellt:

$$x = h\left(1 - \frac{t}{\alpha}\right), \text{ so folgt}$$

$$\log x = \log h + \log\left(1 - \frac{t}{\alpha}\right) \text{ oder da wir nach}$$

Dulong und **Petit** den Ausdehnungscoefficienten $\frac{1}{5550}$ setzen, ist nach Celsius-Graden

$$\log x = \log h - [\log 5550 - \log (4550 - t)]$$

Für Réaumur-Grade ergiebt sich der Ausdehnungscoeficient $\frac{1}{4440}$, also

$$\log x = \log h - [\log 4440 - \log (5440 - t)]$$

oder wenn wir die constanten Differenzen in der Nähe der log 4440 betrachten, die so weit reichen, als man für t nur überhaupt einen Werth setzen kann, so ist

$$\log 4440 - \log (4440 - t) = 0{,}00010\ t$$

also $\log x = \log h - 0{,}00010\ t$.

28) Man hat bei 20° R. einen Barometerstand von 335,67 Linien beobachtet, wie groß ist die an h anzubringende Correction, um den Barometerstand auf 0° zu reduciren?

$$\text{Correction ist} = -\frac{335{,}67 \cdot 20}{4440} = -1{,}5 \text{ also}$$

der reducirte Stand = 334,17 Linien.

29) Außer dieser erwähnten Correction bei der Höhe des Quecksilbers durch die Wärme, ist noch eine neue hinzuzufügen, weil noch die metallne Scala ebenfalls durch die Wärme ausgedehnt wird. Es ist deshalb nothwendig, daß auf der Scala die Temperatur verzeichnet ist, bei welcher die Theilung vorgenommen wurde. Ist nun l die Länge der Scala und t_0 die die Temperatur, bei welcher die Theilung vorgenommen, β der Ausdehnungscoefficient des Metalles der Scala (Messing $\frac{1}{521}$, Silber $\frac{1}{524}$, Glas $\frac{1}{1151}$), wie groß ergiebt sich ihre Länge bei t_1° und welchen Werth hat die anzubringende Correction?

Die Länge $= l\ [1 + \beta\ (t_1 - t_0)]$, die Correction $\beta\ l\ (t_1 - t_0)$ und dieser Werth ist zur Höhe h zu ad-

diren, so daß die sämmtlichen Correctionen unter den angeführten Bezeichnungen:

wahre Barometerhöhe log h $\mp$ 0,00010 t β l $(t_1 - t_0)$.

30) Wie viel Schwingungen wird ein Metallpendel (α Ausdehnungscoefficient) von 1'' Länge, das bei einer bestimmten Temperatur Secunden schlägt, täglich weniger machen, wenn die Temperatur um t_1^0 gestiegen ist?

$$\frac{(l \cdot \alpha\, t_1)\ 86400}{2\, l} \text{ Schwingungen.}$$

31) Nachdem wir die vorhergehenden Fragen beantwortet, gehen wir auf eine frühere Thatsache zurück, nämlich auf die Barometerformel zur Höhenmessung von de Luc. —

Es fragt sich nämlich, welche Abänderung die Formel de Luc's erleidet, wenn die Temperatur über oder unter $16\frac{3}{4}{}^0$R. ist.

Bei unverändertem Barometerstande sind die Höhen der Luftsäulen dem Luftthermometer proportional. — Ist die bestehende Temperatur $= 16\frac{3}{4}{}^0 \pm t^0$ R. $= 213{,}33 + 16{,}75 \pm t^0$ L. (Luftthermometer) $= 230{,}08^0 \pm t^0$ L. und x die gesuchte Höhe der Luftsäule bei 16,75 R. x' die Höhe bei $16{,}75^0 \pm t^0$ R., so ist

$$230 : 230 \pm t = x : x'$$

$$x' = \left(1 \pm \frac{t}{230}\right) x.$$

De Luc fand 215 statt 230.

Sind nun die Temperaturen an den beiden Endpunkten der zu messenden Luftsäule verschieden, so hat man das arithmetische Mittel $\frac{t + t'}{2}$ statt t zu setzen, so daß die ursprüngliche Formel wird

$$x = 10000 \left(1 \pm \frac{t + t'}{2}\right) (\log B - \log b) \text{ Toisen.}$$

Nun verändert aber auch die Wärme die Höhe der Quecksilbersäule, und zwar ein jedes Grad R. um $\frac{1}{4440} = \alpha$. Ist aber B_0 der Barometerstand bei 0° und Bp bei p°, so ist:

$$Bp = (1 + \alpha p)\, B_0 \text{ und } B_0 = \frac{B\,p}{1 + \alpha\,p}$$

$$b_0 = \frac{b\,p}{1 + \alpha\,p_1}$$

somit ist

$$x = 55866 \left(\log \frac{B\,p}{1 + \alpha\,p} - \log \frac{b\,p_1}{1 + \alpha\,p_1}\right)$$

wo 55866 eine Constante, deren Entwicklung hier zu weit führen würde. Hierin ist noch die Correction der Lufttemperatur wegen anzubringen. Da diese sich bei jedem Grade R. um $\frac{1}{213{,}3}$ ihres Volumens bei 0° ausdehnt, so geht das Volumen 1 bei t° über in $1 + \frac{t}{213{,}3}$ und hier somit in $1 + \frac{t + t'}{2 \cdot 213{,}3} = 1 + \frac{t + t'}{426{,}6}$. Da man nun die zu messende Höhe dem Volumen direct proportional annimmt, so hat man

$$x = 55866 \left(1 + \frac{t + t'}{426{,}6}\right) \left(\log \frac{B}{1 + \alpha\,p} - \log \frac{b}{1 + \alpha\,p_1}\right)$$

als die corrigirte Höhenmaßformel de Luc's zu betrachten.

32) Man hat eine cylindrische graduirte Röhre, die oben verschlossen ist und trockene Luft enthält. Sie ist senkrecht in ein weites und tiefes Gefäß mit Quecksilber

gestellt. — Die Höhe des obern Röhrenendes über dem Niveau in dem Gefäße beträgt 335 Millimeter. Die Quecksilbersäule in der Röhre ist 191 Millimeter hoch und man findet, daß man das Rohr 232 Millimeter einsenken muß, bis die Niveau's im Gefäß und in der Röhre gleich hoch stehen. Es soll die Barometerhöhe im Augenblicke des Experimentes gefunden werden. (Bary.)

Es nimmt die zwischen dem Ende der Röhre und dem Quecksilber enthaltene Luft Anfangs einen Raum von 355 Millim. — 191 Millim. = 164 Millim. ein. Wenn nun die Röhre so weit eingetaucht ist, daß die Niveau's übereinstimmen, so ist das Volumen der Luft auf 355 Millim. — 232 Millim. = 123 Millim. verringert. Da nun das verringerte Volumen etwa $\frac{3}{4}$ vom ursprünglichen 164 beträgt, so beträgt das Volumen der Luft nur $\frac{3}{4}$ von dem frühern; also ist auch nach Mariotte der anfängliche Druck, unter dem die Luft stand, $\frac{3}{4}$ von dem atmosphärischen. Es halten somit 191 Millimeter Quecksilber $\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck das Gleichgewicht und somit beträgt der ganze Atmosphärendruck 4 + 191 Millim. = 764 Millim. und dieses ist die gesuchte Barometerhöhe.

Man ersieht hieraus, daß diese Vorrichtung sich unter den Umständen als Barometer gebrauchen läßt, wenn das Quecksilbergefäß so groß ist, daß man die Aenderungen des Niveau's vernachlässigen kann. —

Taf. I.

Fig. 2.

Fig. 1.

Fig. 3.

g. 7.

A

B

d

a

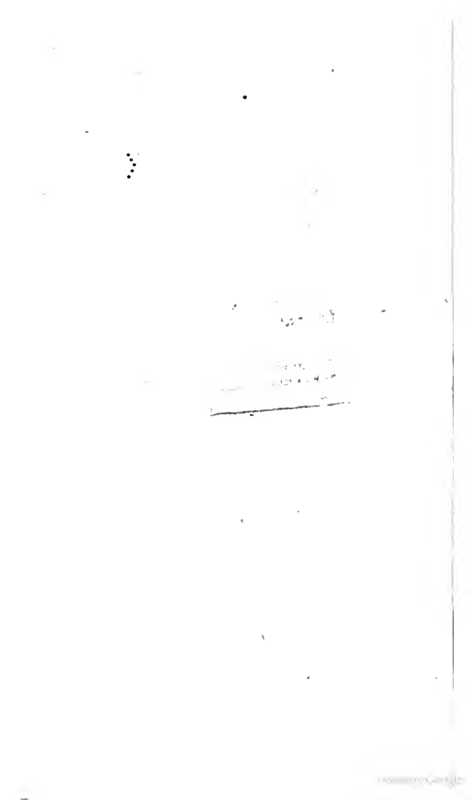
b

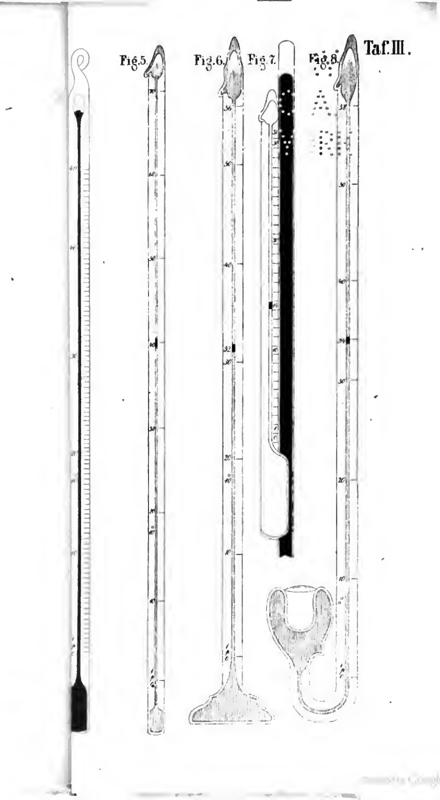
m



Taf. II.

Fig. 6.




Taf. III.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.

Taf. IV.

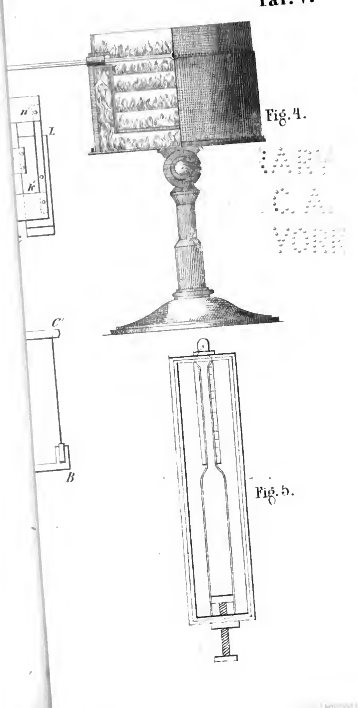
Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 6.



Taf. V.



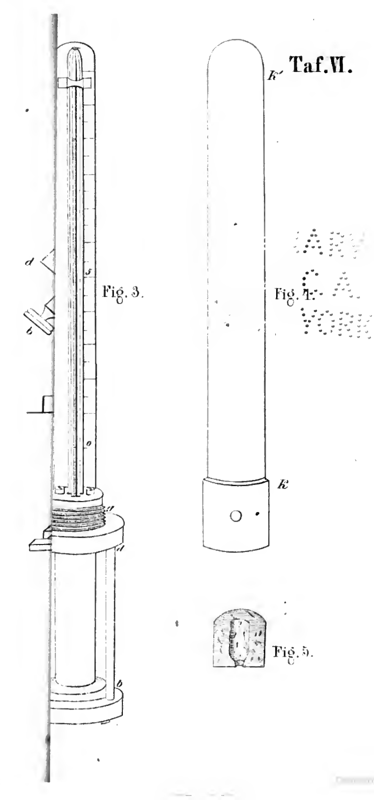

Taf. VI.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.



Fig. 5.

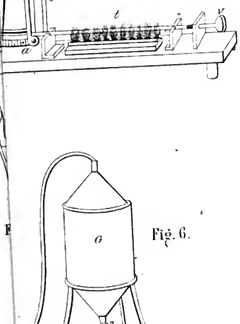
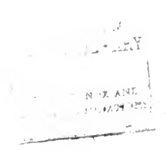


Fig. 6.



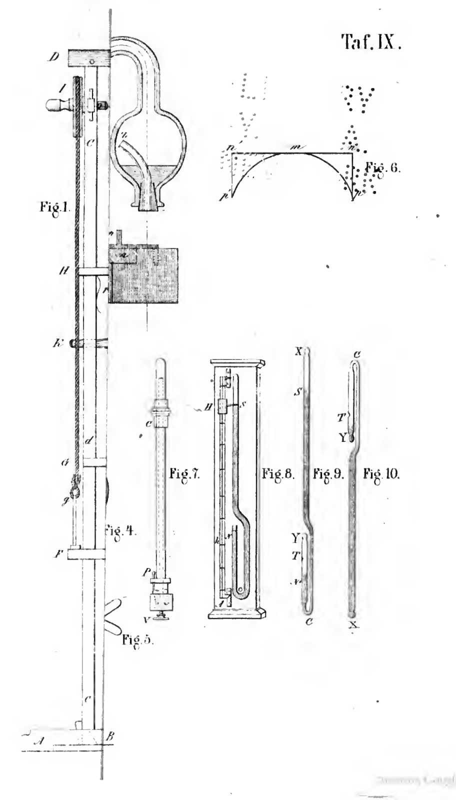
Taf. VIII.

Fig. 4.

Fig. 3.

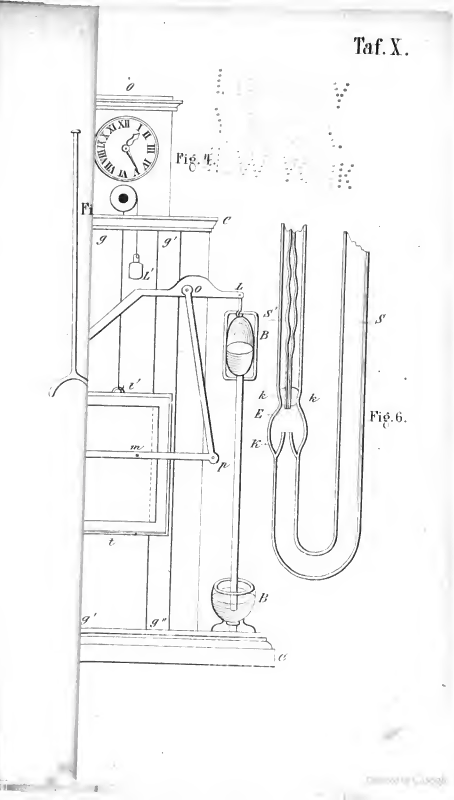
Fig.

NEW YOR
BLIC LIBR
ASTOR, LENOX
TILDEN FOUND



Taf. IX.
Fig. 1.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.

Taf. X.



Taf. XI.

Fig. 5.

Fig. 6

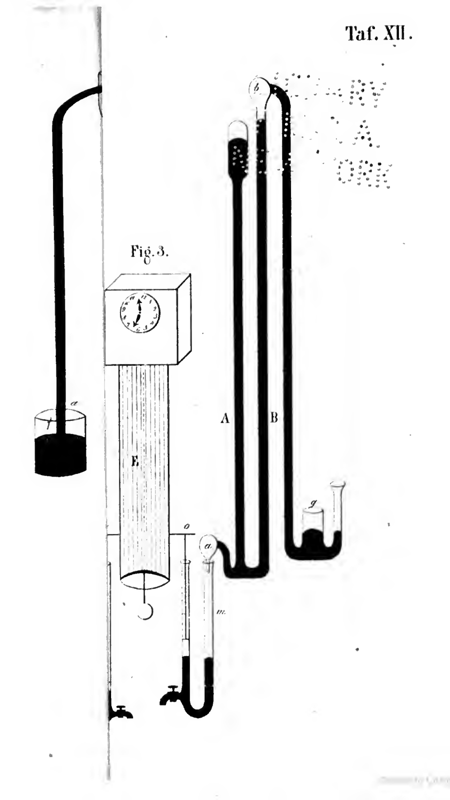
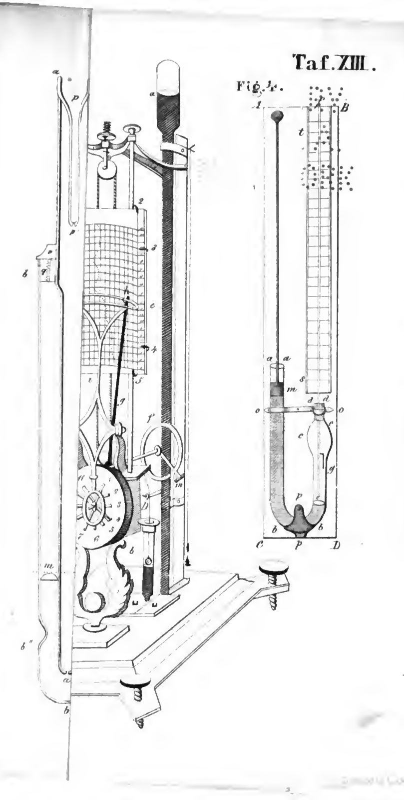
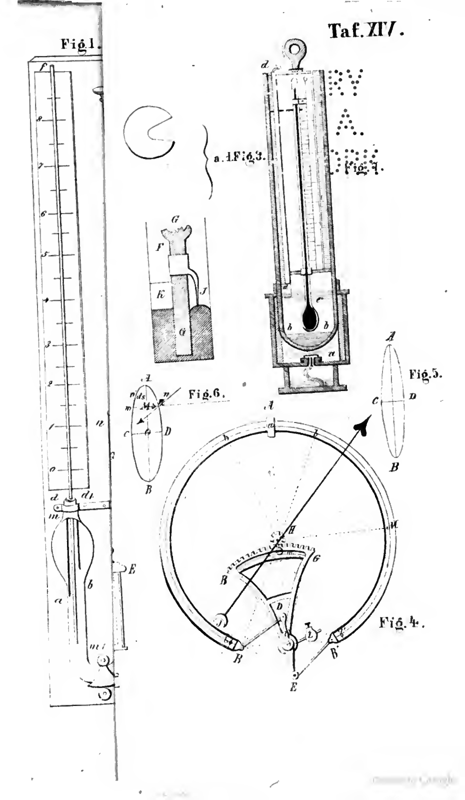


Fig. 3.
a
A
B
b
E
g
o
a
m



Taf. XIII.





Taf. XIV.
Fig. 1.
Fig. 3.
Fig. 7.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 4.

